

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh bateriové skříně kolejového vozidla

Design of Battery Box of Rail Vehicle

Student:

David Pastuszek

Osobní číslo:

PAS0137

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Hruzík

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student: **David Pastuszek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Návrh bateriové skříně kolejového vozidla**
Design of Battery Box of Rail Vehicle
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh nosných prvků kolejového vozidla pro umístění bateriové skříně. Tato skříň je umístěna na spodní straně vozu v jeho zadní části. Bateriová skříň bude připevněna k hrubé stavbě vozu vyráběné ze slitiny hliníku. Skříň musí splňovat požadavky na přístupnost baterií z důvodu údržby. Dále je potřeba dodržet zástavbový prostor. Součástí práce bude pevnostní posouzení navrženého řešení.

Zadáno je:

- Poloha upevňovacích míst na hrubé stavbě vozu.
- Hmotnost a velikost baterií, které je potřeba zabudovat do skříně.
- Normativní požadavky, ze kterých plyne zatížení bateriové skříně.

Bakalářská práce bude obsahovat:

- Návrh několika variant a výběr optimální varianty.
- Konstrukční návrh vybrané varianty ve formě 3D modelu.
- Pevnostní posouzení bateriové skříně metodou konečných prvků, případně analytickou metodou.
- Návrh a kontrolu šroubů pro spojení skříně a hrubé stavby.
- Výkres sestavy a výrobní výkres vedoucím práce vybraného dílu.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3
KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8
KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části pohonů strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 128s. ISBN 978-80-248-1860-3
MORAVEC, Vladimír a Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0878-1.
ČSN EN 12 663-1 *Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel: Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní přepravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. Červen 2015. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní
Normy firemní katalogy, prospekty a www stránky k dané problematice

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Hruzík**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. 5. 2020


.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2020


.....

Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PASTUSZEK, D. *Návrh bateriové skříně kolejového vozidla: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2020, 42 s. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Hruzík.

Bakalářská práce se zabývá návrhem bateriové skříně pro kolejové vozidlo. Tato bateriová skříň je součástí nově navrhované soupravy pro střední Evropu. Úvodem se práce zabývá rozdělením kolejových vozidel a baterií. Také je popsána norma, ze které vyplývají pevnostní požadavky. Další část popisuje vypracované varianty a výběr nejoptimálnější konstrukce. Vybraná varianta je následně podrobně popsána. Následuje výpočet kritických částí analyticky a celá nosná konstrukce je zkontrolována za pomoci MKP. V závěru se nachází zhodnocení celé práce. Doporučení pro výrobu a jiné poznatky, které shrnují návrh konstrukce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PASTUSZEK, D. *Design of Battery Box of Rail Vehicle: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2020, 42 p. Thesis head Ing. Lukáš Hruzík.

The bachelor thesis deals with design of battery box for rail vehicle. This battery box will be a part of designed new train for central Europe. The introduction of the thesis deals with dismemberment rail vehicles and batteries. It is also described a standard. This Standard is needed for strength calculations. The next section described developed variants and choice most optimal design. Selected variant is described in details. The following is a analytical calculation of critical parts, and the entire load-bearing structure is inspected using FEM. In the end is rating of the whole work. Recommendation for production and knowledge that summarize the design of the structure.

Seznam použitých značek a symbolů:

Označení	Popis veličiny	Jednotka
D_d	průměr otvoru pro šroub	[mm]
D_{TM}	průměr třecí plochy matice	[mm]
E_s	modul pružnosti v tahu šroubu pro ocel	[MPa]
$E_{PŘ1}$	modul pružnosti v tahu příruby pro slitinu hliníku	[MPa]
$E_{PŘ2}$	modul pružnosti v tahu příruby pro ocel	[MPa]
F	obecná síla	[N]
F_{1PO}	zatěžující síla podélná	[N]
$F_{1PŘ}$	zatěžující síla příčná	[N]
F_{1s}	zatěžující síla svislá	[N]
F_{1POM}	zatěžující síla podélná MKP	[N]
$F_{1PŘM}$	zatěžující síla příčná MKP	[N]
F_{1SM}	zatěžující síla svislá MKP	[N]
F_a	osová síla v místě uchycení skříně	[N]
F_{a1}	osová síla v místě uchycení skříně na jeden šroub	[N]
F_k	kolmá síla na šroub	[N]
F_o	osová síla ve šroubu	[N]
F_{p1}	síla v přírubě na jeden šroub	[N]
$F_{PŘ}$	minimální síla v přírubě	[N]
F_{Sa}	amplitudová složka dynamické tahové síly	[N]
F_{Sh}	složka horní velikosti dynamické tahové síly	[N]
F_{Sm}	složka střední velikosti dynamické tahové síly	[N]
F_{Sn}	složka dolní velikosti dynamické tahové síly	[N]
F_T	třecí síla	[N]
F_z	síla v závitu	[N]
H	výška základního trojúhelníku ISO profilu závitu	[mm]
I_1	výška pružné podložky	[mm]
I_2	výška podložky	[mm]
$I_{pŘ}$	výška přírub	[mm]
M_K	kroutící moment	[N · mm]
M_U	utahovací moment	[N · mm]
M_T	třecí moment	[N · mm]

M_{TM}	třecí moment pod matic	$[N \cdot mm]$
M_{TZ}	třecí moment v závitu	$[N \cdot mm]$
P_h	stoupání závitu	$[mm]$
R_1	zaoblení přechodu mezi dříkem a hlavou šroubu	$[mm]$
R_{1F}	fiktivní poloměr vrubu v 1. řezu	$[mm]$
R_e	mez kluzu	$[MPa]$
R_m	mez pevnosti v tahu	$[MPa]$
R_Z	zaoblení dna závitu	$[mm]$
R_{ZF}	fiktivní poloměr vrubu závitu	$[mm]$
S	zatěžovaná plocha	$[mm^2]$
$S_{PŘ}$	deformovaná plocha přírub	$[mm^2]$
W_K	průřezový modul v krutu	$[mm^3]$
c_s	tuhost šroubu	$[N \cdot mm^{-1}]$
$c_{PŘ}$	tuhost příruby	$[N \cdot mm^{-1}]$
d	jmenovitý rozměr závitu	$[mm]$
d_2	střední průměr závitu	$[mm]$
d_3	malý průměr závitu	$[mm]$
d_K	průměr klíče	$[mm]$
f	součinitel smykového tření	$[-]$
f_p	součinitel smykového tření mezi styčnými plochami přírub	$[-]$
f_z	součinitel smykového tření na závitu	$[-]$
g	gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
h	výška matice	$[mm]$
h_3	výška závitu	$[mm]$
i	počet šroubů	$[-]$
k	bezpečnost proti prokluzu spojených částí	$[-]$
k_s	statická bezpečnost	$[-]$
k_V	výsledná bezpečnost šroubu	$[-]$
$k_{\sigma a}$	dynamické bezpečnosti šroubu vůči mezní amplitudě	$[-]$
$k_{\sigma h}$	dynamické bezpečnosti šroubu vůči meznímu hor. napětí	$[-]$
k_τ	statická bezpečnost šroubu	$[-]$
l	délka šroubu	$[mm]$

m_1	hmotnost baterií	[kg]
m_2	hmotnost bateriových nosičů	[kg]
m_3	hmotnost koše	[kg]
m_c	celková zatěžující hmotnost	[kg]
p_s	poddajnost šroubu	[mm · N ⁻¹]
s^X	součinitel pevnostní hypotézy	[-]
w	plná část hlavy šroubu	[mm]
α	úhel profilu závitu	[°]
$\alpha_{\sigma 1}$	součinitele koncentrace napětí v 1. řezu	[-]
$\alpha_{\sigma 2}$	součinitele koncentrace napětí v 2. řezu	[-]
$\alpha_{\sigma 3}$	součinitele koncentrace napětí v 3. řezu	[-]
$\beta_{\sigma 1}$	dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubera v 1. řezu	[-]
$\beta_{\sigma 2}$	dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubera v 2. řezu	[-]
$\beta_{\sigma 3}$	dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubera v 3. řezu	[-]
γ	úhel součinitel sbíhavosti	[°]
γ^x	úhel součinitel sbíhavosti kritického místa	[°]
ε_s	poměrná deformace šroubu	[-]
$\varepsilon_{PŘ}$	poměrná deformace přírub	[-]
ρ^X	materiálová konstanta	[mm]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]
ψ_{σ}	součinitel sbíhavosti hladké součásti	[-]
ψ_{σ}^x	součinitel sbíhavosti kritického místa	[-]
φ'	redukovaný třecí úhel	[°]

Obsah

1	Úvod:	1
2	Používaná řešení:	2
2.1	Kolejová vozidla:	2
2.1.1	Rozdělení kolejových vozidel:	2
2.1.2	Rozdělení kolejových vozidel dle normy ČSN EN 12663-1:	5
2.2	Elektrické baterie:	6
2.2.1	Spojování elektrických článků:	6
2.2.2	Druhy elektrochemických zdrojů proudu:	6
2.2.3	Baterie v kolejových vozidlech:	10
2.3	Bateriové skříně:	10
3	Specifikace zatížení:	11
3.1	Zatížení:	11
3.1.1	Norma ČSN EN 12663-1:	11
3.2	Prostorové omezení:	12
4	Výběr varianty:	14
4.1	Svařovaná konstrukce z tlustých plechů:	14
4.2	Svařovaná konstrukce s přivařenými plechy:	14
4.3	Šroubovaný rám s přínýtovanými plechy:	15
5	Popis konstrukce:	16
6	Výpočet kritických částí:	20
6.1	Kontrola šroubového spoje spojující koš s pojezdem:	20
6.2	Kontrola šroubového spoje spojující pojezd s rámem:	22
6.3	Kontrola předepjatého šroubového spoje spojujícího skřín s hrubou stavbou:	23
6.4	Kontrola pomocí MKP:	32
6.4.1	Kontrola podélného směru:	32
6.4.2	Kontrola příčného směru:	33
6.4.3	Kontrola svislého směru:	34
7	Závěr:	37

8	Poděkování:	38
9	Zdroje:.....	39
10	Přílohy:.....	42

1 Úvod:

Tato práce řeší návrh nosných prvků bateriové skříně pro kolejové vozidlo. Veškeré připevněné vybavení k rámu vozu musí splňovat požadavky dle normy ČSN EN 12663-1. Jelikož bateriová skříň také je připevněna k rámu voz musí se podřídít její návrh této normě.

Kromě normy je dalším omezením zástavbový prostor a nutnost zajištění snadného přístupu k bateriím pro údržbu.

Skříň by měla být cenově dostupná, snadně vyrobitelná a snadno smontovatelná. Hmotnost skříně by měla být optimální.

Navrhovaná bateriová skříň má být součástí nově navrhované soupravy od společnosti Škoda Vagonka a.s. Bateriové skříně na již vyráběných soupravách plní svůj účel, ale s pokrokem doby je vhodné přizpůsobit, nebo zcela nahradit staré elementy za modernější, které budou přizpůsobeny moderním technologiím a prostředkům. Nové materiály a polotovary umožňují vylepšit výrobu a mnohdy eliminovat problematické body výroby.

2 Používaná řešení:

V této kapitole jsou popsány různé druhy kolejových vozidel a baterií. Tento stručný přehled obsahuje základní rozdělení a pojmy.

2.1 Kolejová vozidla:

Kolejové vozidlo je dopravní prostředek, hmotný objekt, který je součástí dopravy, jehož jízdní dráhu určují kolejnice. Tyto kolejnice zachycují podélné síly vozidla, mezi které patří rozjezd a brždění, a příčné síly, které vznikají při průjezdu obloukem. Kolejové vozidlo se může pohybovat jak po dvou řadách kolejnic, což je nejrozšířenější způsob, tak i po jedné řadě kolejnic.

Vozidla pohybující se po jedné řadě kolejnic se nazývají monoraily. Monoraily nejsou zajímavé pouze pohybem po jednom kolejovém pásu, ale také tím, že se pohybuje buď nad kolejovou tratí, což je podobné většině kolejovým vozidlům pohybujících se po dvou kolejových páslech, nebo pod ní, a souprava je pověšena na rámu. Rám je připevněn k nápravě, která se pohybuje po kolejnici.



Obr. 2.1 – Monorail v Moskvě [1]
Kabina položená nad tratí



Obr. 2.2 – Monorail ve Wuppertlu [2]
Kabina zavěšená pod tratí

Kolejová vozidla, která využívají dvojici kolejových pásů, jsou nejrozšířenější variantou. Nejznámější jsou v železniční dopravě.

2.1.1 Rozdělení kolejových vozidel:

Kolejová vozidla lze rozdělit do mnoha skupin podle různých kritérií a parametrů. Zde jsem zvolil rozdělení podle skriptu Kolejová vozidla [3], které mi přišlo nejzajímavější a nejoptimálnější z hlediska všeobecného přehledu.

Dělení kolejových vozidel podle schopnosti vyvíjet tažnou sílu:

Hnací vozidla: – **Lokomotivy** – slouží pro přemísťování jednotlivých vozidel, a to na jednom místě (posunovací lokomotivy), nebo mezi jednotlivými místy (traťové lokomotivy):

- **Elektrické lokomotivy** jsou poháněny elektromotorem, nebo několika motory, které jsou napájené z troleje, třetí koleje, nebo z baterie.

- **Motorové lokomotivy** jsou vybaveny spalovacím motorem, vyrábějící výkon, který je dále převeden na dvojkolí. Nejpoužívanější převod výkonu je elektrický, hydrodynamický, mechanický, nebo elektromechanický.

- **Hybridní lokomotivy** mají obvykle dva hnací systémy. Nejčastějším je elektrický motor napájený z trakčního vedení a druhým vedením je spalovací motor, nebo baterie.



Obr. 2.3 – Škoda Emil Zátopek
Elektrická lokomotiva [4]



Obr. 2.4 – Siemens Vectron Dual Mode
Hybridní lokomotiva [5]

- **Motorové vozy** – hnací vozidla se spalovacími motory, určená na přepravu osob a nákladu. Motorové vozy mohou tvořit motorové jednotky, tvořeny motorovým vozem a nemotorovým, či řídicím vozem, které tvoří ucelenou soupravu.

- **Elektrické vozy** – hnací vozidla poháněná elektromotory. Elektrické vozy tvoří elektrické jednotky podobně jako motorové vozy.



Obr. 2.5 – Motorová jednotka řady 814
Škoda Regionova [6]



Obr. 2.6 – Elektrická jednotka řady 680
Alstom Pendolino [7]

Vozy: – **Osobní vozy** – Mezi osobní vozy patří vozy pro přepravu osob, zavazadel, pošty, jízdních kol, automobilů v osobních vlacích, služební vozy a vozy pro poskytování služeb. Vozy pro přepravu osob mohou být sedačkové, lehátkové, lůžkové.

– **Nákladní vozy** – Slouží pouze pro přepravu nákladu. Může se přepravovat veškerý náklad od kusového, přes tekutý a plynný, až po různé kontejnery a návěsy. Nákladní vozy mají různou konstrukci, která je přizpůsobena danému nákladu.

Speciální vozidla: Jsou určeny pro potřeby provozovatelů drah, nebo potřeby průmyslu. Zde patří různá měřicí a stavební vozy pro výstavbu, údržbu a rekonstrukci tratí, hutní vozy, vozy pro koksovny a vozy pro důlní, nebo lesní dráhy.

Dělení kolejových vozidel pro veřejnou dopravu podle jejího charakteru:

Kolejová vozidla pro dálkovou železniční dopravu: Tyto kolejová vozidla musí odpovídat mezinárodním normám, požadavkům standardizace a unifikace.

Kolejová vozidla pro regionální železniční dopravu: Osobní jednotky nejsou tak komfortní, jako při dálkové dopravě, a také mají lehčí stavbu. Regionální nákladní dopravě konkuruje silniční doprava. Výhodou železnice zůstává hromadná přeprava surovin pro průmysl a energetické komplexy.

Kolejová vozidla pro městskou a příměstskou dopravu: Téměř výhradně se týká osobní dopravy. Městskou a příměstskou dopravu lze rozdělit do dvou skupin:

– v úrovni terénu – Zde patří pouze tramvaje. Tramvaje jsou elektrické vozy, nebo jednotky přizpůsobené konstrukcí a velikostí tramvajové trati. Tramvajové tratě se můžou v jednotlivých městech od sebe lišit například jmenovitou šířkou koleje, nebo tvarem kolejnic. Některé tratě jsou připojeny se železniční tratí.

– mimo úroveň terénu – Zde patří podzemní, podpovrchová, nadzemní doprava. Nejznámější je metro, nebo monorail. Mezi méně známé patří metro na pneumatikách.

Mimoúrovňové a úrovňové tratě lze výhodně kombinovat.



Obr. 2.7 – Tramvaj (Calgary, Alberta)
Siemens S200 [8]



Obr. 2.8 – Metro (Petrohrad)
Škoda Něva [9]

Dělení kolejových vozidel podle rozchodu koleje:

Vozidla normálního rozchodu – mají jmenovitý rozchod 1435 mm. Používají se na evropských železnicích, a u městských a průmyslových drahách.

Vozidla úzkorozchodná – mají jmenovitý rozměr < 1435. Například tratě Tatranské železnice a bratislavské tramvajové tratě mají jmenovitý rozměr 1000 mm, nebo trať Třemešná ve Slezsku – Osoblaha má jmenovitý rozměr 760 mm.

Vozidla širokorozchodná – mají jmenovitý rozměr > 1435. Například tratě Finska a země bývalého Sovětského svazu mají jmenovitý rozměr 1520 mm, tratě Severního Irska 1602 mm, a také na Španělské i Portugalské tratě mají jmenovitý rozměr 1668 mm.

Dle definice kolejového vozidla je nutno vzpomenout i další zařízení, které využívají kolejnice, ale nejsou kolejovými vozidly. Zde patří autobusové dráhy, které jsou pouze vedeny kolejnicí.

2.1.2 Rozdělení kolejových vozidel dle normy

ČSN EN 12663-1:

Rozdělení dle této normy [10] uvádím z důvodu využití této normy při výpočtech a specifikace zatížení v kapitole 3 Specifikace zatížení. Toto rozdělení zohledňuje pevnostní požadavky na jednotlivé skupiny a je uvedeno v kapitole 5.2 této normy:

Lokomotivy – Kategorie L např. lokomotivy a hnací jednotky

Neslouží pro přepravu cestujících, pouze na vyvinutí tažné síly

Vozidla osobní dopravy – Kategorie P-I např. osobní vozy

– Kategorie P-II např. ucelené vlakové jednotky
a osobní vozy

– Kategorie P-III např. vozidla metra, rychlodrážní
a lehké konstrukce

– Kategorie P-IV např. lehká vozidla metra
a vozidla tramvajové rychlodráhy

– Kategorie P-V např. tramvajová vozidla

Nákladní vozy – Kategorie F-I např. vozidla bez omezení při posuvu

– Kategorie F-II např. vozidla se zákazem posunu odrazem
a jízdy přes drážní pahrbek

2.2 Elektrické baterie:

Elektrická baterie je zdroj elektrické energie, realizovaný za pomoci elektrochemického článku. Baterie je tvořena jedním, nebo více články spojenými sériovým, paralelním, nebo sérioparalelním zapojením. [11] [12] [13]

Elektrochemický článek, také nazývaný jako Galvanický článek, je chemický zdroj elektrického, stejnosměrného napětí, který se skládá ze dvou tzv. poločlánků. Tyto poločlánky jsou dvě elektrody ponořené, nebo obklopené elektrolytem. Tyto dvě elektrody tvoří anoda a katoda. Záporná elektroda vyrobená nejčastěji ze zinku, lithia, kadmia, nebo hydroxidů kovů je při vybíjení článku katodou a při nabíjení anodou. Kladná elektroda se vyrábí z oxidů kovů, jako je například oxid manganičitý, nebo oxid stříbrný, při vybíjení článku je anodou a při nabíjení katodou. Elektrody se vyrábějí lisováním, sintrováním (spékáním), nebo se spojují plastem. Elektrolyt musí mít iontovou vodivost, která zajišťuje vedení proudu. Musí obsahovat pohyblivé ionty s kladným nábojem (kationty) a záporným nábojem (anionty). Pro elektrolyt jsou využívány vodní roztoky alkalických hydroxidů, jako je například hydroxid draselný, silné kyseliny, nebo jejich soli. Bezvodý, tuhý elektrolyt je vyroben ze soli rozpuštěné v organickém rozpouštědle. V galvanickém článku mohou být použity i další látky, které prodlužují životnost článku, nebo snižují únik látek z článku. [12] [13] [14]

Mnoho baterií je nutno testovat pro jejich bezpečnost. Testují se například trakční baterie podle normy EHK 100.02

2.2.1 Spojování elektrických článků:

Elektrické články spojujeme pro získání požadovaného napětí, nebo kapacity baterie. Tímto způsobem lze také spojovat jednotlivé baterie pro získání požadovaných vlastností pro napájení výchozího spotřebiče. [12]

Sériové – napětí baterie U se zvýší počtem článků a kapacita se nemění.

Paralelní – kapacita baterie C se zvýší počtem článků a napětí se nemění.

Sériově paralelní – kombinace paralelního a sériového zapojení podle potřeby navýšení napětí a kapacity. Kolikrát potřebujeme navýšit napětí, tolik článků zapojíme do série a kolikrát potřebujeme zvýšit kapacitu, tolik článků, sériovou řadu, zapojíme paralelně.

2.2.2 Druhy elektrochemických zdrojů proudu:

Nejzákladnějším rozdělením je rozdělení podle principu:

Primární články – slouží na jedno vybití. Mají omezený počet reaktantů, látek vstupujících do chemické reakce, které se přemění na produkt reakce, které nelze obnovit. Základní primární článek je Leclancheův článek s burelovou katodou, zinkovou anodou v solném elektrolytu. Alkalické burelové články s alkalickým elektrolytem lze dobíjet při částečném vybití, ale tato možnost se využívá zřídka, a proto jsou používány jako primární článek. [12] [15]

- **zde patří:** zinko-uhlíkové, zinko-chloridové, stříbro-zinkové, rtuťové, alkalika, lithiové (válcové, knoflíkové) [13]

Sekundární články = akumulátory – slouží na více vybití. Také mají omezený počet reaktantů, ale v tomto případě lze je obnovit za pomoci vnějšího elektrického proudu zpět na aktivní reaktanty. Při nabíjení se mění elektrická energie na chemickou, která se v článku akumuluje. Toto nabíjení probíhá různými způsoby, jako například elektrickým proudem, nebo mechanicky (výměnou elektrod). Jeden článek má pouze 1,2 až 2 V. při získání většího napětí je zapotřebí spojit více článků. [12]

- **rozdělení dle použití:** [12]

- **staniční baterie** – jsou trvale dobíjeny a zajišťují nepřetržité napájení. Při výpadku proudu nedojde k poklesu proudu na výstupu.

- životnost se uvádí v rocích provozu.
- rozvodové sítě v energetice, rádio a telekomunikaci.

- **trakční baterie** – cyklický provoz při vybíjení a nabíjení.

- životnost se uvádí v počtu cyklů vybití-nabití.
- elektromobily, plošinové a zvedací elektrovozíky.

- **startovací baterie** – krátce vybíjeny vysokými proudy a k vybití dochází zřídka. Nabíjejí se neustále při běhu motoru.

- pro spouštění spalovacích motorů.

- **přístrojové baterie** – zatíženy přerušovaně, až po plné vybití

- bývá jako jediný zdroj
- měřicí přístroje, mobilní zařízení, fotoaparáty, ...

- **rozdělení podle stupně uzavření článkových nádob:** [12]

- **otevřený článek** – nemá víko pouze krycí sklo, aby se snížilo množství unikajícího aerosolu.

- elektrolyt je v přímém kontaktu s ovzduším.
- použití u staniční olověné baterie od desítek do několika tisíc ampérhodin.

- **uzavřený článek** – víko s otvorem uzavřeným zátkou, ventilem.
 - otvor slouží pro unikání plynů, doplnění Elektrolytu a vody, měření teploty a hustoty.
- **ventilem řízený článek** – článek uzavřen ventilem, který umožní při určitém přetlaku únik plynů.
 - článek je bezúdržbový.
- **uzavřený plynotěsný článek** – nabíjí se jen podle návodu výrobce které je závislé na teplotě článku.
 - bezúdržbový článek, bezp. systéme
- **hermetický článek** – nemají vodné elektrolyty a jsou bezúdržbové

– *Dělení dle použitého elektrolytu:* [13]

- **kyselé elektrolyty – olověné akumulátory** – 2V (jmenovité napětí)
 - podrobné specifikace a parametry olověných akumulátorů jsou uvedeny v normách: ČSN a EN. Například ČSN EN 60254-1 a ČSN EN 60254-2 pro staniční baterie, nebo ČSN EN 50342+A1 pro startovací baterie.

– elektrolyt – vodou zředěná kyselina sírová, Která se ztužuje tixotropním gelem z kyseliny křemičité, tyto baterie jsou nazývané „**Gelový článek**“, nebo je nasáknut do speciálních separátorů ze skleněných vláken, nazývané „**AGM**“.

- elektrody se vyrábějí v různých tvarech: mřížkové, trubkové, tyčkové, velkopovrchové, diskové, spirálové.
 - záporná elektroda – porézní olovo
 - kladná elektroda – oxid olovičitý
 - uzavřenost – uzavřené větrané – mají kapalný elektrolyt a dodávají se již naplněným v článku, nebo bez a elektrolyt se doplní při uvedení do provozu. Ventil zabraňuje únik aerosolu a udržuje přetlak (0,07 až 0,43 kPa). Nabíjet je nutno dle požadavků výrobce

- řízené ventilem – VRLA – nemají kapalný elektrolyt, a proto umožňuje instalaci v jakémkoli poloze.
 - použití – startovací, trakční, fotovoltaické, staniční.

– **alkalické elektrolyty** –

- **hermetické – nikl-kadmiové** – NiCd – 1,2V

– zdravotnická, vojenská,
letecká technika, nářadí

Výhody: vysoká spolehlivost a
životnost, vhodná pro odběry vysokých proudů, rychlé nabíjení, dobré mechanické
vlastnosti, univerzální, vyrábí se ve všech tvarech.

Nevýhody: škodlivé pro životní
prostředí, pokles napětí před vybitím. [13]

– **nikl-metalhydridové** – NiMH – 1,2V

Výhody: větší kapacita, menší
zátěž pro životní prostředí, náhrada NiCd.

Nevýhody: větší samovybíjení,
škodí rychlé vybití a nabití, vyšší cena, menší odolnost. [13]

– **lithium-iontové** – Li-Ion – 3,6V

Výhody: vysoké napětí, vysoká
energie, nízká hmotnost, dlouhá životnost, nízké samovybíjení, dobrá bezpečnost,
nezávadné pro životní prostředí, nemají paměťový efekt.

Nevýhody: nelze rychle nabíjet,
nutnost řídicí elektroniky pro vybíjení a nabíjení, vysoká cena. [13]

– **lithium polymerové** – Li-Pol

– Polymerový Li-iontový článek
– stejná jako Li-Ion jenom
elektrolyt je ve formě polymerů

Výhody: nižší hmotnost, dají se
mechanicky formovat do určité míry, bezpečné. [13]

– *otevřené* – **nikl-kadmiové**

– **nikl-zinek** +nejvyšší vybíjecí napětí

-nestejná nabíjitelnost. [12]

– **nikl-železo** – trakční baterie

Výhody: nejsou toxické, odolné vůči
přebíjení a hlubokému vybití, vysoká životnost (4000 cyklů, 25 let). [12]

– **stříbro-zinek** – armádní

Výhody: velká účinnost, vybíjení
velkými proudy, neškodí vybitý stav, odolné.

Nevýhody: vysoká cena. [12]

Palivové články – v těchto článcích probíhá studená spalovací reakce paliva, která vytvoří požadovaný proud a jako vedlejší produkt zplodiny. Článek se pouze energie odvádí a nelze ji akumulovat. Nabití se provede dodáním paliva s okysličovadlem do článku, který je tvořen inertními elektrodami a elektrolytem. Jako palivo se používá vodík, formaldehyd, amoniak, oxid uhelnatý, zemní plyn, metan, metanol, etanol, ... Okysličovadlo se používá čistý kyslík, vzduch, nebo peroxid vodíku. Nejčastější použití kyslíko-vodíkového článku pro pohon automobilů. [12]

2.2.3 Baterie v kolejových vozidlech:

Jako záložní zdroje v kolejových vozidlech se používají výhradně staniční baterie. Tyto baterie jsou určeny k nouzovému napájení.

Nejvýhodnější pro tuto funkci jsou olověné ventilem řízené baterie.

2.3 Bateriové skříně:

Bateriové skříně slouží pro uložení a zajištění optimálních podmínek, maximálního výkonu a životnosti, nebo bezpečnost modulů bateriových akumulátorů. Konstrukce by měla být co nejoptimálnější daným podmínkám, kde bude umístěna a používána.

Výkon a životnost baterie závisí na okolní teplotě, a pro to se do skříně montuje chladicí, nebo ohřívací zařízení. Nejlepším místem pro stykače a pojistky je co nejbližší zdroji, a to místo je také v bateriové skříně. Bateriové skříně musí mít místo pro rozvody energie.

V České republice a Evropské unii bateriové skříně v silniční dopravě musí přejít homologací. Homologaci zajišťuje legislativa daného státu pomocí příslušným normám, jakou je například norma pro trakční baterie EHK 100.02.

3 Specifikace zatížení:

Tato kapitola se zabývá hlavními prvky, které jsou důležité při dimenzování a vývrhu Bateriové skříně.

3.1 Zatížení:

Bateriová skříň je zatížena při provozu kolejového vozidla různými silami, které je složité definovat a popsat bez bližšího přezkoumání. Všechna zatížení byla přezkoumána a výsledky byly zapsány do normy, která usnadňuje práci konstruktérům.

3.1.1 Norma ČSN EN 12663-1:

Norma ČSN EN 12663-1+A1 – Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel – Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metody pro nákladní vozy).

Tato normu ČSN EN 12663-1 (28 0320) byla schválena 23. 01. 2010. Změna A1 byla schválena 23. 09. 2014. Platí ve všech zemích EU a ESVO (Evropské sdružení volného obchodu). Druhá část této normy se zabývá toutéž problematikou, ale u nákladních vozů.

Norma poskytuje volnost optimalizace návrhu skříní kolejových vozidel při dodržení jednotlivých úrovní bezpečnosti. Vnikla pro jednotnou výchozí základnu při navrhování skříní kolejových vozidel. Pevnostní návrhy v této normě vycházejí z reálných zatížení skříní při různých vlastnostech materiálů.

Hlavní body této normy jsou:

- Pevnostní požadavky
- Konstrukční zatížení
- Přípustné zatížení materiálů
- Požadavky na pevnostní zkoušky
- Validační program
- Přílohy

V této normě jsou použité termíny, které jsou blíže specifikovány:

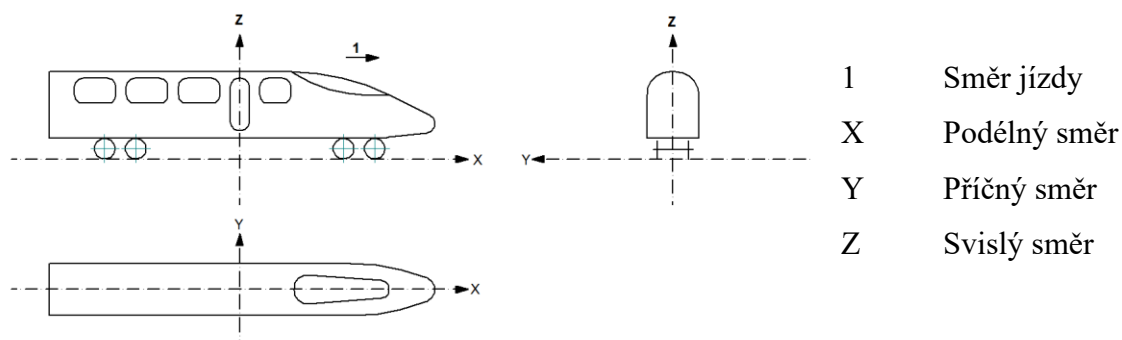
Skříň kolejového vozidla – „hlavní konstrukce nesoucí zatížení, umístěná nad systémy vypružení, včetně všech prvků upevněných k této konstrukci a přímo se podílejících na její pevnosti, tuhosti a stabilitě.“ [10]

„POZNÁMKA Mechanické vybavení a další namontované díly se nepovažují za součást skříně vozidla, avšak jejich úchyty ke skříní ano.“ [10]

Úchyt vybavení – „upevňovací zařízení a všechny související místní nosné konstrukční části nebo rámy, spojující vybavení ze skříní vozidla.“ [10]

Konstrukční zatížení:

Konstrukce kolejových vozidel musí odolávat maximálnímu zatížení po celou dobu životnosti. Zatížení vychází z provozních požadavků za běžných provozních podmínek.



Obr. 3.1. – souřadnicový systém skříně vozidla

Mezní zatížení:

Tab. 3.1. – Podélný směr [10]

Lokomotivy	Kolejová vozidla osobní dopravy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
L	P-I	P-II	P-III	P-IV	P-V	F-I	F-II
$\pm 3g$	$\pm 5g$	$\pm 3g$	$\pm 3g$	$\pm 2g$	$\pm 2g$	$\pm 5g$	

Tab. 3.2. – Příčný směr [10]

Lokomotivy	Kolejová vozidla osobní dopravy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
L	P-I	P-II	P-III	P-IV	P-V	F-I	F-II
$\pm 1g$							

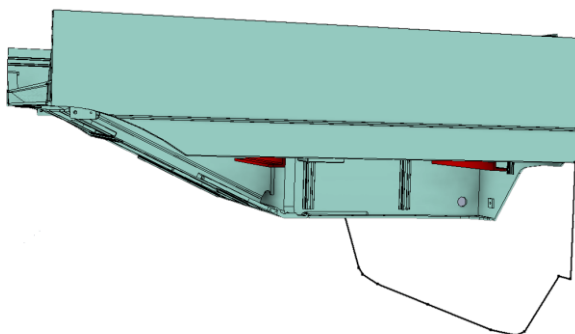
Tab. 3.3. – Svislý směr [10]

Lokomotivy	Kolejová vozidla osobní dopravy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
L	P-I	P-II	P-III	P-IV	P-V	F-I	F-II
$(1 \pm c) \cdot g$							
$c = 2$ na konci vozidla a klesá na 0,5 ve středu vozidla							

3.2 Prostorové omezení:

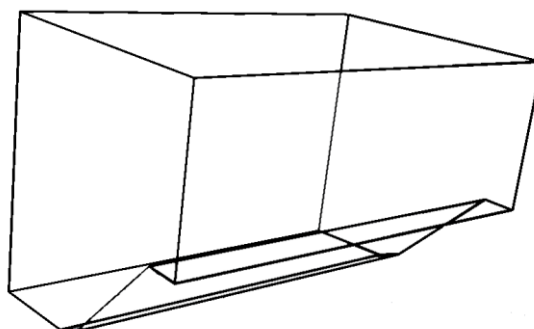
Prostorové omezení vychází z hrubé stavby vozu a tvaru traťového koridoru. Stavba vozu je omezena z pravé strany, kde je konec vozu a skříň nesmí přesahovat za vůz, a z levé strany již začíná prostor pro soukolí (tato orientace je uvedena posle obrázku 3.1). Tvar

traťového koridoru je dán normou. Toto omezení je znázorněno na obrázku (Obr. 3.2.). Na tomto obrázku je tvar traťového koridoru znázorněn obrysovým náčrtem.



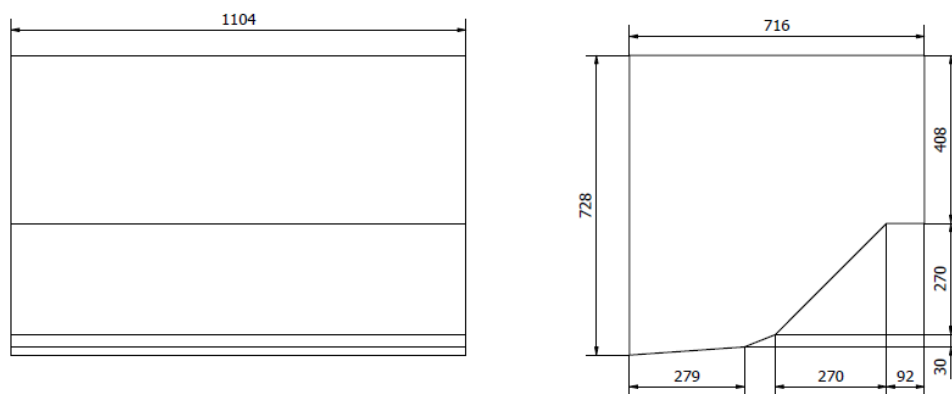
Obr. 3.2. – Hrubá stavba vozu s obrysem tratě

Pro přesnější představu zástavbový prostor je znázorněn na drátovém modelu na obrázku (Obr. 3.3.).



Obr. 3.3. – Drátový model zástavbového prostoru

Do tohoto zástavbového prostoru se musí umístit bateriová skříň, která může těsně opisovat tvar koridoru, nebo se do tohoto prostoru vejít jiným tvarem.



Obr. 3.4. – Rozměry zástavbového prostoru

Jako prostorové omezení je také dobré zmínit udržení mezery od hrubé stavby vozu a také myslet na prostor pro vedení kabeláže do vozu.

4 Výběr varianty:

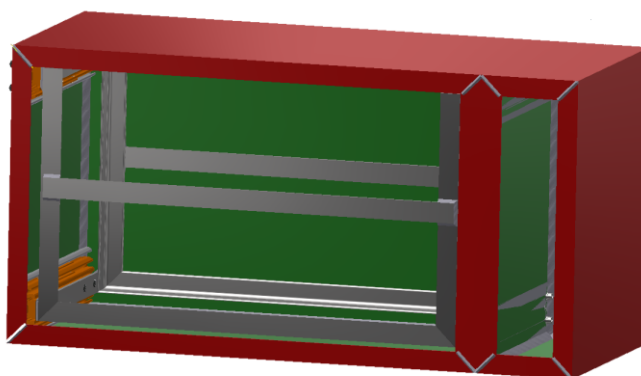
Uvažoval jsem o třech různě zhotovených variantách. U každé jsem uvažoval o co nejoptimálnější způsob.

4.1 Svařovaná konstrukce z tlustých plechů:

První varianta je provedena z tlustých plechů, které jsou svařeny. V této konstrukci je připevněn svařovaný koš na baterie připevněný na pojezdech.

Tato konstrukce má malou tuhost. Pro zvýšení tuhosti by bylo zapotřebí provést ztužující výlisky do plechu, nebo přidat další ztužující prvky. Bylo by obtížné dodržet pevnostní požadavky z normy ČSN EN 12663-1+A1 z které vychází pevnostní požadavky. K dalším nevýhodám patří hmotnost a výrobní náročnost. Při svařování, které by bylo časově náročné, je zapotřebí minimalizovat deformace způsobené zahřátím materiálu. Při nerobotizovaném svařování je zde vysoké riziko úrazu popálením.

Za výhody lze pokládat samonosnost skříně a menší počet prvků.



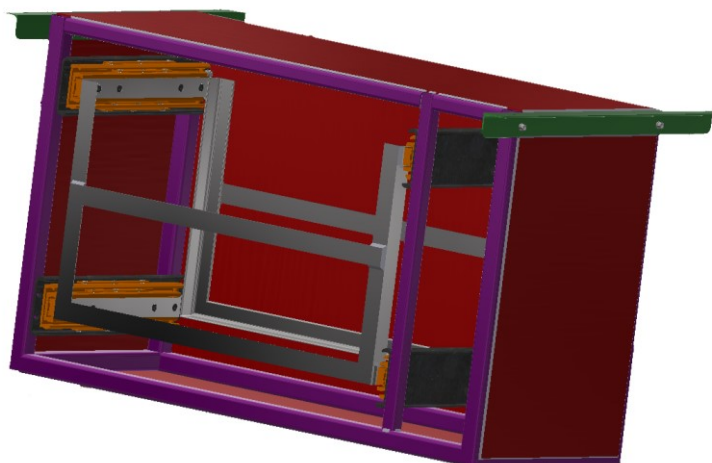
Obr. 4.1. – Model skříně z tlustých plechů, bez dvířek

4.2 Svařovaná konstrukce s přivařenými plechy:

Druhá konstrukce je zhotovena ze svařované konstrukce zhotovené z tenkostěnných profilů TR 4HR 30x3 – ISO 10799-2 a TR 4HR 25x3 – ISO 10799. K těmto profilům jsou přivařeny tenké plechy jako výplň. Také zde je požit svařovaný koš na baterie přišroubovaný k pojezdům a pojezdy k rámu.

Rám je pevnější než varianta č.1. Konstrukci lze kompletovat ve více etapách a tím lze snížit čas výroby automatizací. Při svařování jednotlivých profilů lze dodržet vyšší přesnost. K svařování je potřebný kvalifikovaný pracovník.

Svary nahrazují rozebíratelné spoje. To může být výhodou i nevýhodou. K výhodám se řadí těsnost spoje a eliminují další prvky, jako jsou šrouby, podložky, spojky a další díly k tomu potřebné.



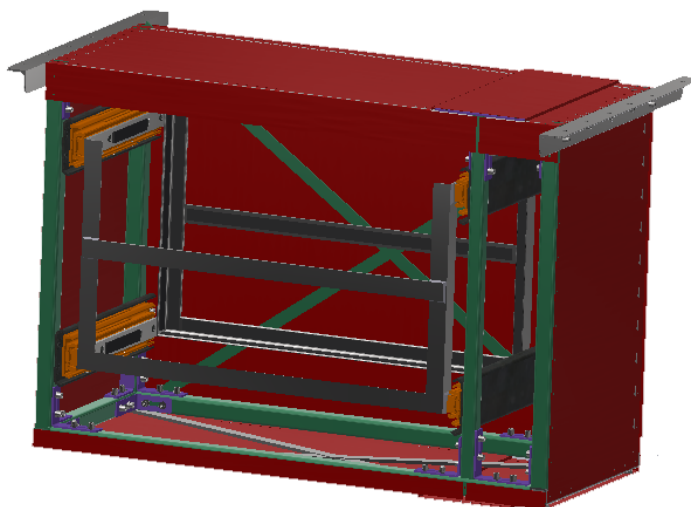
Obr. 4.2. – Model svařované skříně s rámem, bez dvířek

4.3 Šroubovaný rám s přinýťovanými plechy:

Třetí varianta vychází částečně z druhé. Jsou zde také použity tenkostěnné profily TR 4HR 30x3 – ISO 10799-2 a TR 4HR 25x3 – ISO 10799, které jsou spojeny za pomoci šroubových spojů. Jako výplň jsou použity plechy ze slitiny hliníku, které jsou k rámu přinýťovány. K sešroubování profilů k sobě jsou použity spojky, nebo úhelníky. K rámu je přišroubován svařovaný koš na pojezdech.

Tuhost této konstrukce je spekulativní a je možné že bude za potřebí ji zpevnit přídatnými výztuhami. Hlavní přednosti této konstrukce je snadná smontovatelnost. Při použití pár přípravků na dodržení přesností a tolerancí dělníci snadno spojí jednotlivé díly. Předcházející výroba polotovarů také není příliš náročná, pouze je nevýhodou větší počet dílů. Plechy ze slitiny hliníku značně odlehčí konstrukci.

Tuto variantu považuji za neoptimálnější a dále se jí budu zabývat.



Obr. 4.3. – Model šroubovaného rámu s přinýťovanými plechy, bez dvířek

5 Popis konstrukce:

Konstrukce skříně je navržena směrem od baterie ven. To znamená od uchycení baterií, až po uchycení k hrubé stavbě vozu. Pro zvolenou variantu využívám hutní polotovary.

Ve skříní má být uložených šest článků umístěných v bateriových nosičích pro dva články, tudíž 3 bateriové nosiče. Pro tyto bateriové nosiče jsem navrhnul konstrukci z L profilů a obdélníkových tyčí. Jednotlivé profily jsou spojeny za pomoci svařování.

Tato konstrukce, nazývaná koš, má být dostatečně tuhá, aby dobře ochránila bateriové nosiče a spojení jednotlivých baterií před nepříznivými podmínkami, které vznikají při provozu.

Tento způsob volby polotovaru a svařování považuji za neoptimálnější variantu. Hutní polotovary jsou cenově dostupné, snadno se dají opracovat, a také svařování není náročné. Svařování je také cenově příznivé, dostupné a vytvoří dostatečnou tuhost konstrukce. Pro svařování je sice potřeba kvalifikovaný pracovník, kterého větší firmy mají, nebo to může nahradit i externí firma, která doručí svařený celek připravený k montáži.

L profily, z kterých je zhotoven koš mají vnitřní zaoblení, které jsem musel eliminovat. Pro eliminaci tohoto zaoblení jsem zvolil pryžové pásy, které je přilepeno na L profily. Tyto pryžové pásy také eliminují do určité míry vibrace, rázy, a také je izolantem. Pryž, kterou jsem zvolil, je také antistatická. Pryž volím od firmy GUMEX [16] a pryž volím dle typového označení A590. [17]



Obr. 5.1. – Svařovaný koš

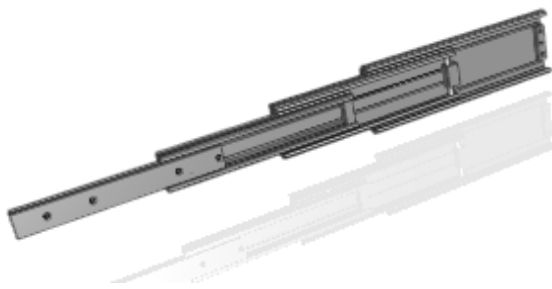


Obr. 5.2. – Svařovaný koš s pryžovými pásy

Následujícím krokem je vyřešení přístupu k bateriím pro údržbu. Pro vyřešení tohoto problému jsem použil pojezdy. Celek funguje na principu zásuvky. Koš se vysune ze skříně do prostoru, a tak umožní snadnou montáž a demontáž baterií a jejich údržbu.

Pojezdy jsem volil od firmy CHAMBRELAN. Tato firma vyrábí teleskopické lišty, kolejové vedení, Slide and Tilt a madla se zámkem pro průmyslové použití v různých odvětvích, jako je například kolejová doprava. [18]

Pro tento návrh použiji lištu CHAMBRELAN RA774 o délce 350 mm v zasunutém stacu. [19] Tato lišta umožňuje extra výsuv, který zajistí dostatečný prostor pro manipulaci údržbě až 540 mm. Zatížení na kolmo na jeden pár je 207 kg a pro to volím dva páry.



Obr. 5.2. – Teleskopická lišta CHAMBRELAN RA774 [19]

Tyto lišty umístím na horní a dolní plochou tyč na koši. Toto uspořádání rozloží rovnoměrně hmotnost baterií s košem na lišty ve všech směrech.

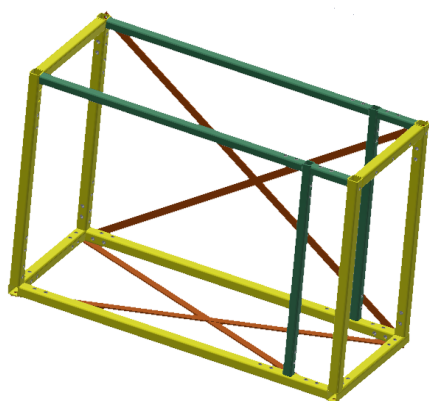
Lišty jsou přišroubovány ke koši šrouby se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem M6 x 20 8.8 ISO 10642 a šestihrannou nízkou maticí M6 ISO 4036.



Obr. 5.3. – Umístění pojezdových lišt na koši

Uchycení baterií a přístup pro údržbu je do tohoto kroku realizovatelný a vyřešen. Následoval návrh uchycení již navržené části k hrubé stavbě vozu. Tímto návrhem je myšlen vnější rám, který bude absorbovat veškeré zatížení z provozu. Toto zatížení je blíže specifikováno v normě ČSN EN 12663-1+A1 (viz. *Kapitola 3.1.1*).

Základním prvkem jsem zvolil hutní polotovary. Hutní polotovary jsou dostupné a cenově příznivé. Na všechny hlavní nosníky použiji tenkostěnné profily čtyřhranné TR 4HR 30x3 – ISO 10799-2 a na méně podstatné zpevňující nosníky, nebo již zpevněné jiným nosníkem použiji TR 4HR 25x3 – ISO 10799. Po první pevnostní kontrole jsem musel konstrikcí ještě zpevnit za pomoci plochých tyčí PLO 20x3 – ISO 1035.



Žlutá: TR 4HR 30x3 – ISO 10799-2

Zelená: TR 4HR 25x3 – ISO 10799

Oranžová: PLO 20x3 – ISO 1035

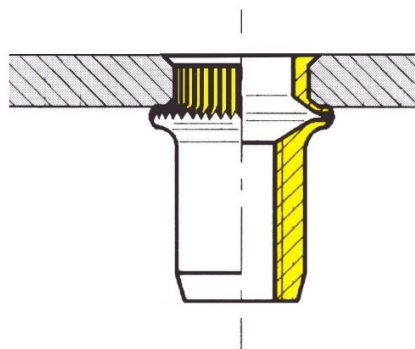
Obr.5.4. – Barevně rozlišené profily na rámu

Hlavní předností zvolené konstrukce jsou šroubové spoje. Pro co nejjednodušší provedení těchto spojů považují za vhodné použít nýtovací matice.

Nýtovací matice jsou ideálním řešením pro tenkostěnné profily. Tyto matice nám nahrazují plný materiál, v kterém by byl vyřezán závit. Matice se snadno za krátkou dobu zanýtují do předvrtaného otvoru za pomoci nýtovacích kleští, nebo nástavců na vrtačky. Pro tuto konstrukci použijí pozinkované nýtovací matice se zápusťnou hlavou od firmy SIMAF.



Obr.5.5. – Nýtovací matice
SIMAF S 6 FR 35 X [20]



Obr.5.6. – Zanýťovaná nýtovací matice
SIMAF S 6 FR 35 X [21]

Pro spojení dvou profilů jsem navrhl spojovací plechy a úhelníky. Tyto spojovací prvky jsou vyrobeny z plechu o tloušťce 3 mm. Tvar plechu může být buď vyřezán, nebo vystřižen. Konečný tvar se docílí ohýbáním. Výjimkou je spojovací plech, ve kterém jsou vyvrtány otvory pro šroub se zápusťnou hlavou.



Obr.5.7. – L úhelník

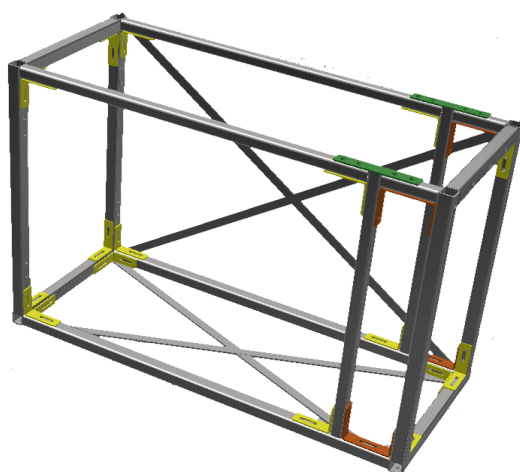


Obr.5.8. – U úhelník



Obr.5.9. – Spojovací deska

L úhelník je hlavním spojovacím prvkem. Je přišroubován dvěma šrouby na každé straně, to znamená dva páry na jeden úhelník. Šrouby jsem zvolil s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M6 ISO 4762. Pod hlavu šroubu se použijí podložky. Plochá podložka ISO 7089 a pružná podložka ČSN 02 1741. Jedna strana je delší o jednu rozteč šroubů, protože do zvolených profilů není možno zanýtovat dvě nýtovací matice naproti sobě ani v jedné rovině. Tento problém vyřeší dostatečná rozteč mezi šrouby. Na každé straně je drážka na šrouby. Drážku místo děr na šrouby jsem zvolil pro snadné vystřížení tohoto otvoru na lisech. Otvor také umožní lepší montáž, nepatrně sníží hmotnost a zvýší toleranci rozteče šroubů v jednom směru.



Žlutá: L úhelník

Oranžová: U úhelník

Zelená: spojovací deska

Obr.5.10. – rozmístění spojovacích prvků

Úhelník tvaru U je obdobný jako L úhelník, jenom je jednoúčelový a určený na jedno místo. Na rámu spojuje profily v místě určeném pro pojistky.

Spojovací deska je použita na zpevnění horních vodorovných profilů. Šrouby se zápusťnou hlavou, byly použity z důvodu prostorového omezení. V případě použití šroubů s válcovou hlavou by se musely vytvořit otvory v krycím plechu na tyto šrouby a vznikla by netěsnost a tím místo pro vznik koroze.

K oplechování skříně jsou použity plechy se slitiny hliníku o tloušťce 3 mm. K odizolování dvou materiálů hliník-ocel je na styčných plochách nanesen těsnicí tmel. Plechy jsou přinýtovány k rámu skříně trhacími nýty. K oddělení části na pojistky od části s bateriemi použiji také tento plech. Dvířka budou dvoje. Jedny pro místo určené pro baterie a druhé, menší pro místo pro pojistky z již zmiňovaných plechů. Na spojení dvířek volím plastové panty. Plast eliminuje vznikání koroze při styku dvou různých materiálů. Pro zajištění dvířek v místě pro baterie použiji speciální zámek s madlem od firmy CHAMBRELAN, který zajistí i koš na pojezdech. Pro zajištění dvířek od pojistkové části použiji dva univerzální zámky.

6 Výpočet kritických částí:

Kontrolovány jsou analyticky vybrané prvky z celé konstrukce a celá konstrukce za pomoci MKP.

6.1 Kontrola šroubového spoje spojující koš s pojezdem:

Výpočet zatěžující síly na jednu lištu:

Hmotnost baterií $m_1 = 240 \text{ kg}$

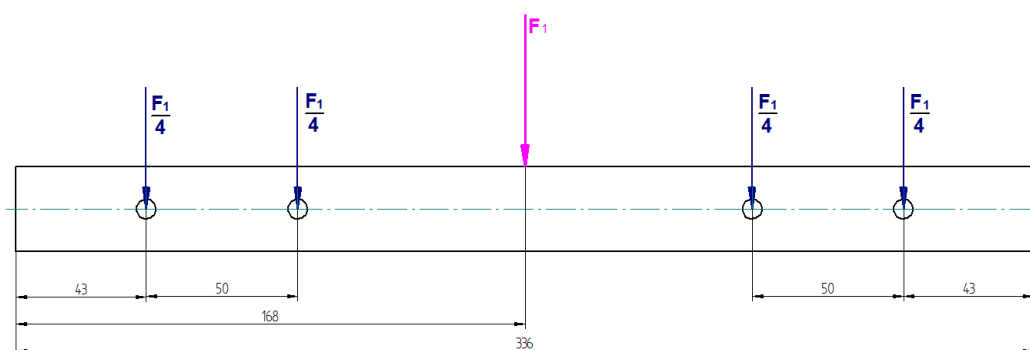
Hmotnost bateriových nosičů $m_2 = 42 \text{ kg}$

Hmotnost koše $m_3 = 7 \text{ kg}$

$$m_c = \sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 = 240 + 42 + 7 = 289 \cong 290 \text{ kg} \quad (6.1.)$$

Hmotnost zatěžující lišty zaokrouhlím na desítky z důvodu přidání dalšího materiálu, jakou je kabeláž a svorky.

$$F_{1s} = \frac{2 \cdot g \cdot m_c}{4} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 290}{4} = 1\,422,5 \text{ N} \quad (6.2.)$$



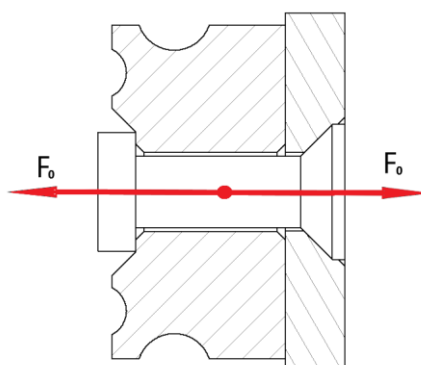
Obr. 6.1. – Síly působící na pojezd

Výpočet síly ve šroubu:

$$\frac{F_{1s}}{4} < F_T \quad (6.3.)$$

$$k \cdot F_{1s} = F_0 \cdot f$$

$$F_0 = \frac{k \cdot \frac{F_{1s}}{4}}{f} = \frac{1,3 \cdot \frac{1\,422,5}{4}}{0,15} = 3\,082 \text{ N}$$



Obr. 6.2. – Osová síla působící ve šroubu

ŠROUB M6 x 20 ISO 10642 – 8.8: $P_h = 1 \text{ mm}$

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$d_2 = 5,773 \text{ mm}$$

$$d_3 = 5,571 \text{ mm}$$

$$d_K = 11,3 \text{ mm}$$

průměr díry:

$$D_d = 6,4 \text{ mm}$$

Úhel stoupání závitu:

$$\psi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{\pi \cdot 5,773} = 3,156^\circ \quad (6.4.)$$

Třecí redukovaný úhel:

$$\varphi' = \operatorname{tg}^{-1} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,826^\circ \quad (6.5.)$$

Součinitel smykového tření na závitu f_z volím dle tabulky (Tab. 6.1) $f_z = 0,15 [-]$

Tab. 6.1 – Součinitel smykového tření na závitu $f_z [-]$ [23]

Povrch matice	Povrch šroubu	Součinitel smykového tření na závitu $f_z [-]$	
		Nemazaném	Mazaném olejem
neupravený	neupravený	0,19 ÷ 0,36	0,16 ÷ 0,24
	fosfátovaný	0,28 ÷ 0,40	0,17 ÷ 0,30
	černěný	0,27 ÷ 0,36	0,25 ÷ 0,28
	zinkovaný	0,13 ÷ 0,22	0,13 ÷ 0,18
	kadmiovaný	0,10 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,17
zinkovaný	zinkovaný	0,21 ÷ 0,43	0,11 ÷ 0,17
kadmiovaný	kadmiovaný	0,15 ÷ 0,38	0,10 ÷ 0,17

Krut:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \\ &= \frac{3\,082 \cdot \operatorname{tg}(3,156^\circ + 9,826^\circ) \cdot \frac{5,773}{2}}{\frac{\pi \cdot 5,571^3}{16}} = 60,41 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (6.6.)$$

Tah:

$$\sigma_T = \frac{F}{S} = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{3\,082}{\frac{\pi \cdot 5,571^2}{4}} = 126,44 \text{ MPa} \quad (6.7.)$$

Výpočet redukovaného napětí podle Guesta:

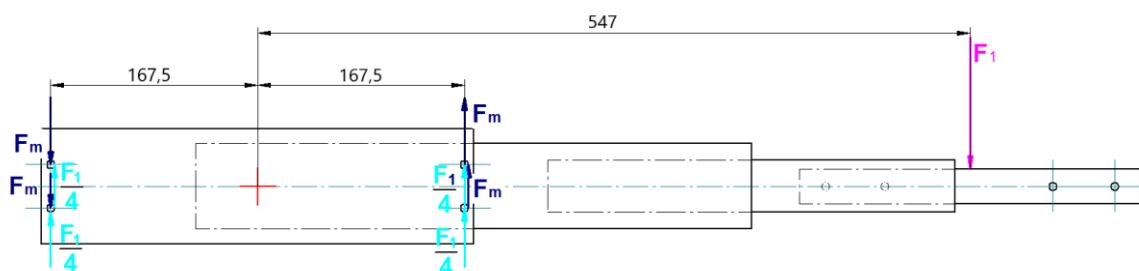
$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_T^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{126,44^2 + 4 \cdot 60,41^2} = 174,88 \text{ MPa} \quad (6.8.)$$

Bezpečnost:

$$k_{S_{8,8}} = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 10}{174,88} = 3,66 \quad (6.9.)$$

Utahovací moment: [23]

$$\begin{aligned} M_U = M_T = M_{TZ} + M_{TM} &= F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_{TM}}{2} \\ &= F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_d + d_K}{2} \\ &= 3\,082 \cdot \operatorname{tg}(3,156 + 9,826) \cdot \frac{5,773}{2} + 3\,082 \cdot 0,15 \cdot \frac{6,4 + 11,3}{2} = \\ &= 6\,143 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (6.10.)$$

6.2 Kontrola šroubového spoje spojující pojezd s rámem:

Obr. 6.3. – Síly působící na šrouby při vysunutém pojezdu

$$F_{1PŘ} = \frac{m \cdot g}{4} = \frac{290 \cdot 9,81}{4} = 711,2 \text{ N} \quad (6.11.)$$

Síla od kroutícího momentu:

$$F \cdot l = 4 \cdot F_m \cdot r \quad (6.12.)$$

$$F_m = \frac{F_{1PŘ} \cdot l}{4 \cdot r} = \frac{711,2 \cdot 547}{4 \cdot 167,5} = 580,6 \text{ N}$$

Výpočet kolmé síly na šroub:

$$F_k = \frac{F_{1PŘ}}{4} + F_m = \frac{711,2}{4} + 580,6 = 758,4 \text{ N} \quad (6.13.)$$

Výpočet osově síly šroubu:

$$F_0 = \frac{k \cdot F_k}{f} = \frac{1,3 \cdot 758,4}{0,15} = 6\,572,8 \text{ N} \quad (6.14.)$$

Krut:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \\ &= \frac{6\,572,8 \cdot \operatorname{tg}(3,156^\circ + 9,826^\circ) \cdot \frac{5,773}{2}}{\frac{\pi \cdot 5,571^3}{16}} = 128,8 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (6.15.)$$

Tah:

$$\sigma_T = \frac{F}{S} = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{6\,572,8}{\frac{\pi \cdot 5,571^2}{4}} = 269,6 \text{ MPa} \quad (6.16.)$$

Výpočet redukovaného napětí podle Gesta:

$$\sigma_{\text{RED}} = \sqrt{\sigma_T^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{128,8^2 + 4 \cdot 269,6^2} = 554,37 \text{ MPa} \quad (6.17.)$$

Bezpečnost:

$$k_{S_{8,8}} = \frac{R_e}{\sigma_{\text{RED}}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 10}{554,37} = 1,2 \quad (6.18.)$$

Utahovací moment: [23]

$$\begin{aligned}M_U &= M_T = M_{TZ} + M_{TM} = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_{TM}}{2} \\ &= F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_d + D_K}{2} \\ &= 6\,572,8 \cdot \operatorname{tg}(3,156 + 9,826) \cdot \frac{5,773}{2} + 6\,572,8 \cdot 0,15 \cdot \frac{6,4 + 11,3}{2} = \\ &= 13\,099 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}\quad (6.19.)$$

6.3 Kontrola předepjatého šroubového spoje spojujícího skříň s hrubou stavbou:

ŠROUB M8 x 30 ISO 10642 – 8.8: $P_h = 1,25 \text{ mm}$

$d = 8 \text{ mm}$

$d_2 = 7,188 \text{ mm}$

$d_3 = 6,466 \text{ mm}$

$d_k = 13 \text{ mm}$

$w = 3,3 \text{ mm}$

$l = 30 \text{ mm}$

počet šroubů

$i = 8$

Výpočet velikosti minimální síly v přírubě:

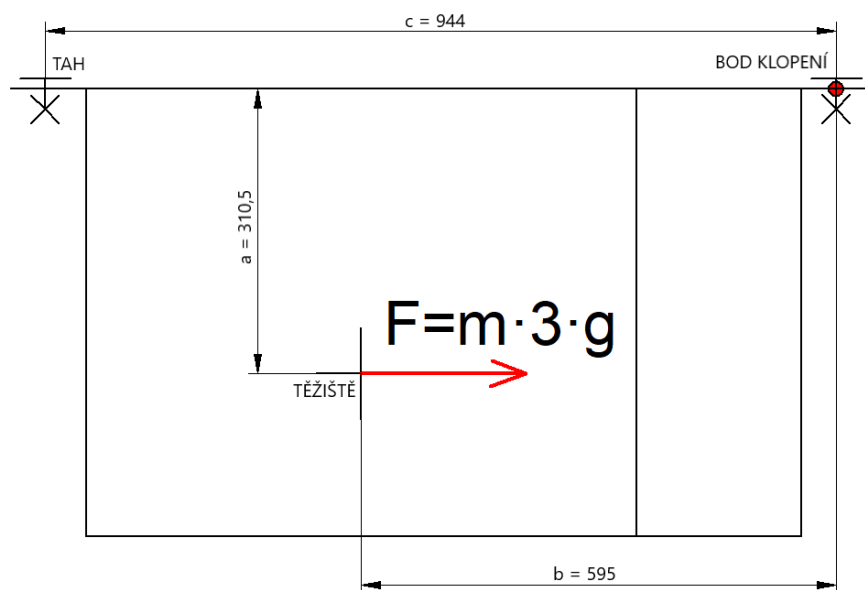
$$F_{P1} = \frac{3 \cdot g \cdot m_c}{i} = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 290}{8} = 1\,066,8 \text{ N} \quad (6.20.)$$

$$F_{P\check{R} \text{ MIN}} = \frac{F_{P1}}{f_p} = \frac{1\,066,8}{0,47} = 2\,269,8 \text{ N} \quad (6.21.)$$

součinitel tření stykové plochy f_p volím: $f_p = 0,47$ [22]

Výpočet osově síly:

$$F_a = \frac{3 \cdot g \cdot m_c \cdot a}{c} = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 290 \cdot 310,5}{944} = 2\,807,2 \text{ N} \quad (6.22.)$$



Obr. 6.4. – Síla v těžišti skříně zatěžující šrouby

Výpočet osově síly působící na jeden šroub:

$$F_{a1} = \frac{F_a}{\frac{i}{2}} = \frac{2\,807,2}{\frac{8}{2}} = 701,8 \text{ N} \quad (6.23.)$$

Kontrola velikosti metrického závitu šroubu podle pevnostní podmínky: [23]

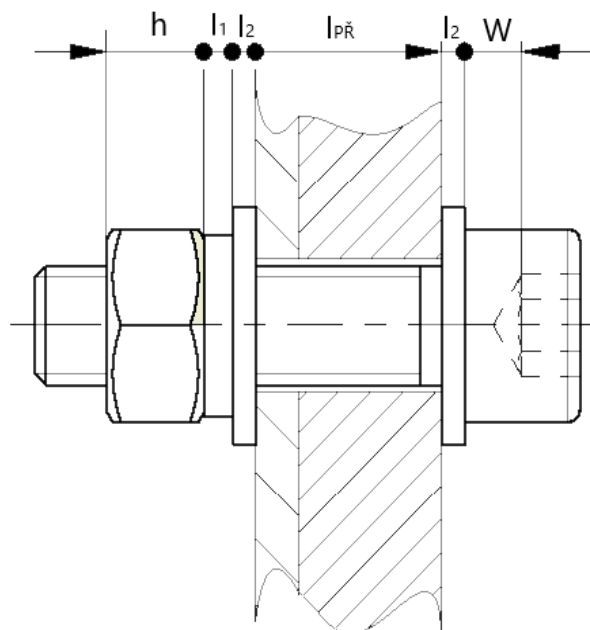
$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt} \quad (6.24.)$$

$$\frac{F_{P1}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} \leq \frac{R_e}{k_S}$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{P\check{R} \text{ MIN}} \cdot k_S}{\pi \cdot R_e}}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{P\check{R} \text{ MIN}} \cdot k_S}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2\,269,8 \cdot 4}{\pi \cdot 8 \cdot 8 \cdot 10}} = 4,25 \text{ mm}$$

Poddajnost šroubu:



$$h = 6,8 \text{ mm}$$

$$l_1 = 1,6 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \text{ mm}$$

$$l_{PŘ} = 13 \text{ mm}$$

$$W = 3,3 \text{ mm}$$

Obr. 6.5. – Rozdělení deformované části šroubu

$$p_s = \frac{1}{c_s} = \frac{1}{E_s} \cdot \sum_i \frac{I_{Si}}{S_{Si}} = \frac{1}{E_s} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot h}{\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} + \frac{l_2 + l_1 + l_{PŘ}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} + \frac{l_3 + W}{\pi \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^2} \right] = \quad (6.25.)$$

$$= \frac{1}{210\,000} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot 6,8}{\pi \cdot \left(\frac{7,188}{2}\right)^2} + \frac{1,6 + 2 + 13}{\pi \cdot \left(\frac{6,466}{2}\right)^2} + \frac{1,6 + 3,3}{\pi \cdot \left(\frac{8}{2}\right)^2} \right] =$$

$$= 3,27 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \cdot \text{N}^{-1}$$

Z poddajnosti šroubu vypočítáme tuhost šroubu: [23]

$$C_s = \frac{1}{p_s} = \frac{1}{3,27 \cdot 10^{-6}} = 305\,810,34 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (6.26.)$$

Redukovaný průměr trubky: [23]

$$d_{RED} = d_K + \frac{l_{PŘ}}{2} \cdot \tan \alpha = 13 + \frac{13}{2} \cdot \tan 40^\circ = 18,45 \text{ mm} \quad (6.27.)$$

úhel α volím: $\alpha = 40^\circ$

Deformovaná plocha přírub: [23]

$$S_{PŘ} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{RED}^2 - d_D^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (18,45^2 - 9^2) = 203,73 \text{ mm}^2 \quad (6.28.)$$

Tuhost příruby: [23]

modul pružnosti v tahu pro slitinu hliníku $E_{PŘ1} = 70\,000 \text{ MPa}$

modul pružnosti v tahu pro ocel $E_{PŘ2} = 210\,000 \text{ MPa}$

$$C_{P\check{R}} = \frac{E_{P\check{R}1} \cdot S_{P\check{R}}}{I_{P\check{R}1}} + \frac{E_{P\check{R}2} \cdot S_{P\check{R}}}{I_{P\check{R}2}} = \frac{70\,000 \cdot 203,73}{10} + \frac{210\,000 \cdot 203,73}{3} = \quad (6.29.)$$

$$= 15\,687\,210 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Podmínka nutná k potřebné amplitudě dynamického namáhání šroubu: [23]

$$\frac{C_{P\check{R}}}{C_S} \geq 7 \quad (6.30.)$$

$$\frac{15\,687\,210}{305\,810,34} = 51$$

$$51 \geq 7$$

Složka dolní velikosti dynamické tahové síly: [23]

$$F_{S_n} = F_0 = F_{P\check{R} \text{ MIN}} + \Delta F_{P\check{R}} = F_{P\check{R} \text{ MIN}} + F_{a1} \cdot \frac{C_{P\check{R}}}{C_{P\check{R}} + C_S} = \quad (6.31.)$$

$$= 2\,269,8 + 701,8 \cdot \frac{15\,687\,210}{15\,687\,210 + 305\,810,34} = 2\,958,2 \text{ N}$$

Amplitudová složka dynamické tahové síly: [23]

$$F_{S_a} = \frac{\Delta F_S}{2} = \frac{F_{a1} \cdot \frac{C_S}{C_S + C_{P\check{R}}}}{2} = \frac{701,8 \cdot \frac{305\,810,34}{305\,810,34 + 15\,687\,210}}{2} = 6,7 \text{ N} \quad (6.32.)$$

Složka střední velikosti dynamické tahové síly: [23]

$$F_{S_m} = F_{S_n} + F_{S_a} = 2\,958,2 + 6,7 = 2\,964,9 \text{ N} \quad (6.33.)$$

Složka horní velikosti dynamické tahové síly: [23]

$$F_{S_h} = F_{S_n} + 2 \cdot F_{S_a} = 2\,958,2 + 2 \cdot 6,7 = 2\,971,6 \text{ N} \quad (6.34.)$$

Střední průměr stykové plochy matice a podložky: [23]

$$D_{TM} = \frac{d_K + D_D}{2} = \frac{13 + 9}{2} = 11 \text{ mm} \quad (6.35.)$$

Úhel stoupání závitu: [23]

$$\psi = \text{tg}^{-1} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \text{tg}^{-1} \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} = 3,1683^\circ \quad (6.36.)$$

Utahovací moment: [23]

$$M_U = F_0 \cdot \text{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_S}{2} = \quad (6.37.)$$

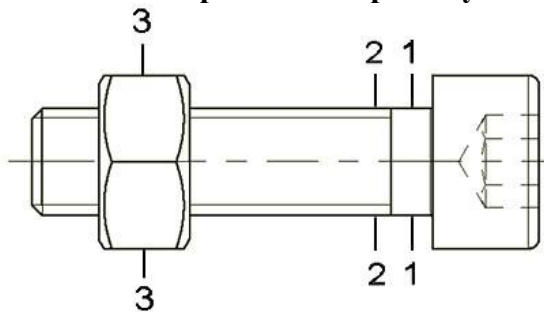
$$= 2\,958,2 \cdot \text{tg}(3,168 + 9,826) \cdot \frac{7,188}{2} + 2\,958,2 \cdot 0,15 \cdot \frac{11}{2} =$$

$$= 4\,894 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Výpočet statické síly působící obvodově na závit šroubu: [23]

$$F_Z = F_0 \cdot \text{tg}(\psi + \varphi') = 2\,958,2 \cdot \text{tg}(3,168 + 9,826) = 613,4 \text{ N} \quad (6.38.)$$

Dynamické namáhání šroubu v tahu pro kritické průřezy:



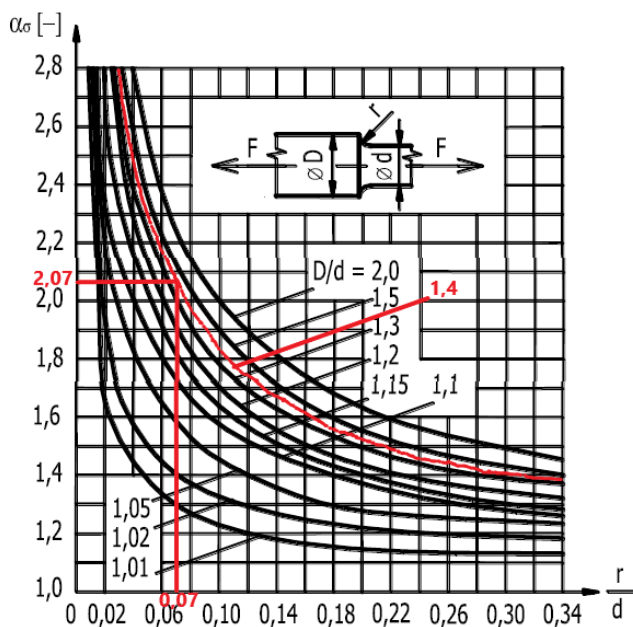
Obr. 6.6. – Konstrukční vruby na šroubu

Průřez 1-1 zaoblený přechod osazení do hlavy šroubu: [23]

$$\frac{D}{d} = \frac{d_K}{D_d} = \frac{13}{9} = 1,4 \quad (6.39.)$$

$$\frac{r}{d} = \frac{R_1}{d} = \frac{0,6}{8,4} = 0,07 \quad (6.40.)$$

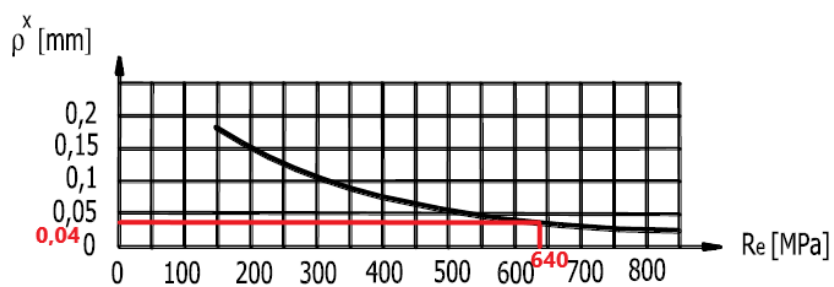
R_1 a d vzniká z náhrady zkosení přechodu mezi hlavou a dříkem šroubu.



Obr. 6.7. – Graf součinitele koncentrace napětí pro osazení a tahové namáhání [23]

$$\alpha_{\sigma 1} = 2,07 [-]$$

Materiálová konstanta ρ^x , vyjadřující velikost zrna je závislá na mezi kluzu.



Obr. 6.8. – Graf závislosti ρ^x na Re [23]

$\rho^x = 0,04$ je pro všechny průřezy stejné.

Součinitel pevnostní hypotézy: [23]

Poissonova konstanta pro ocel v pružném stavu $\nu = 0,3$ [-]

Tento součinitel pevnostní hypotézy platí pro všechny průřezy.

$$s^X = \frac{2 - \nu}{1 - \nu} = \frac{2 - 0,3}{1 - 0,3} = 2,429 \quad (6.41.)$$

Fiktivní poloměr vrubu: [23]

$$R_{1F} = R_1 + s^X \cdot \rho^X = 0,6 + 2,429 \cdot 0,04 = 0,087 \quad (6.42.)$$

Dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubergera: [23]

$$\beta_{\sigma 1} = \alpha_{\sigma 1} \cdot \sqrt{\frac{R_1}{R_{1F}}} = 2,07 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{0,087}} = 5,4 \quad (6.43.)$$

Průřez 2 – 2 Zaoblené dno zatíženého závitu Md šroubu mimo matici:

Výška základního trojúhelníku ISO profilu závitu: [23]

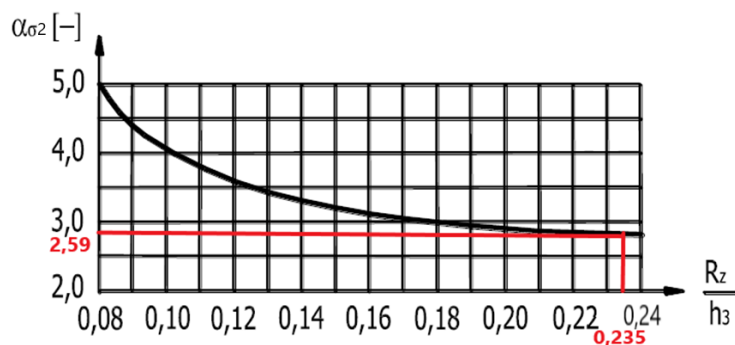
$$H = 0,866025404 \cdot P = 0,866025404 \cdot 1,25 = 1,08 \text{ mm} \quad (6.44.)$$

Zaoblení dna závitu: [23]

$$R_Z = 0,144337561 \cdot P = 0,144337561 \cdot 1,25 = 0,18 \text{ mm} \quad (6.45.)$$

Výška závitu: [23]

$$h_3 = H - \left(\frac{H}{6} + \frac{H}{8} \right) = 1,08 - \left(\frac{1,08}{6} + \frac{1,08}{8} \right) = 0,765 \text{ mm} \quad (6.46.)$$



Obr. 6.9. – Graf součinitele koncentrace napětí pro zaoblené dno metrického závitu a tahové namáhání

$$\alpha_{\sigma 2} = 2,59 \quad [-]$$

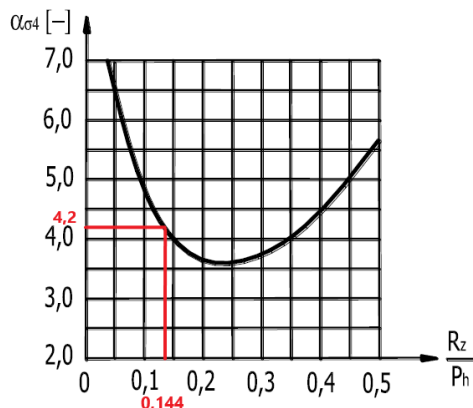
Fiktivní poloměr vrubu: [23]

$$R_{ZF} = R_Z + s^X \cdot \rho^X = 0,18 + 2,429 \cdot 0,035 = 0,265 \quad (6.47.)$$

Dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubergera: [23]

$$\beta_{\sigma 3} = \alpha_{\sigma 3} \cdot \sqrt{\frac{R_Z}{R_{ZF}}} = 2,59 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,265}} = 2,135 \quad (6.48.)$$

Průřez 3 – 3 Zaoblené dno zatíženého závitu Md šroubu v místě 1. závitu matice: [23]



Obr. 6.10. – Graf součinitele koncentrace napětí pro zaoblené dno metrického závitu v místě 1. závitu matice a tahové namáhání.

Dynamické namáhání šroubu v tahu podle Neubergera: [23]

$$\beta_{\sigma 4} = \alpha_{\sigma 4} \cdot \sqrt{\frac{R_z}{R_{ZF}}} = 4,2 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,265}} = 3,46 \quad (6.49.)$$

Horní napětí dynamického tahu: [23]

$$\sigma_{tSh} = \frac{F_{sh}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{2\,971,6}{\pi \cdot \left(\frac{6,466}{2}\right)^2} = 90,5 \text{ MPa} \quad (6.50.)$$

Střední napětí dynamického tahu: [23]

$$\sigma_{tSm} = \frac{F_{Sm}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{2\,964,9}{\pi \cdot \left(\frac{6,466}{2}\right)^2} = 90,3 \text{ MPa} \quad (6.51.)$$

Dolní napětí dynamického tahu: [23]

$$\sigma_{tSn} = \sigma_0 = \frac{F_{sd}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{2\,958,2}{\pi \cdot \left(\frac{6,466}{2}\right)^2} = 90,1 \text{ MPa} \quad (6.52.)$$

Amplitudové napětí dynamického tahu: [23]

$$\sigma_{tSa} = \frac{F_{sa}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{6,7}{\pi \cdot \left(\frac{6,466}{2}\right)^2} = 0,2 \text{ MPa} \quad (6.53.)$$

Statické namáhání šroubu v krutu: [23]

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} = \frac{613,4 \cdot \frac{7,188}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 6,466^3} = 41,5 \text{ MPa} \quad (6.54.)$$

Mez únavy materiálu: [23]

$$\sigma_C \cong 0,41 \cdot R_m \cong 0,41 \cdot 800 \cong 328 \text{ MPa} \quad (6.55.)$$

$$R_m = 800 \text{ MPa} [24]$$

Součinitel sbíhavosti: [23]

$$\psi_{\sigma} \cong 0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^{-4} \cong 0,02 + 2 \cdot 800 \cdot 10^{-4} \cong 0,18 \quad (6.56.)$$

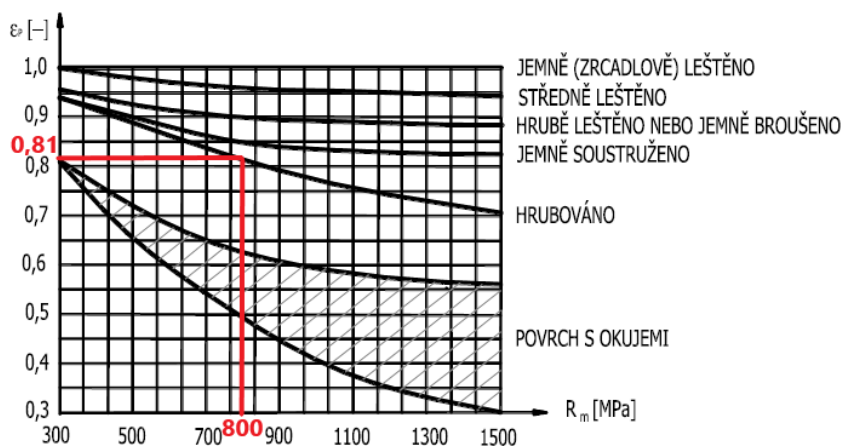
$$\operatorname{tg} \gamma = 1 - \psi_{\sigma} \quad (6.57.)$$

$$\gamma = \operatorname{atg} 1 - 0,18 = 39,35^{\circ}$$

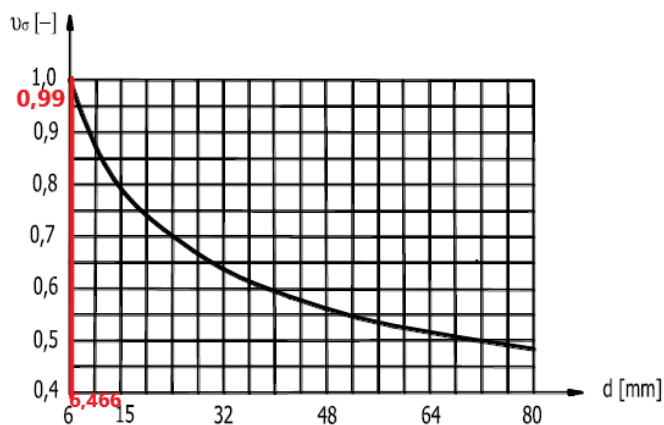
Mez únavy pro mījivý cyklus: [23]

$$\psi_{\sigma} = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sigma_C - \frac{\sigma_{hc}}{2}}{\frac{\sigma_{hc}}{2}} = \frac{2 \cdot \sigma_C - \sigma_{hc}}{\sigma_{hc}} \quad (6.58.)$$

$$\sigma_{hc} = \frac{2 \cdot \sigma_C}{1 + \psi_{\sigma}} = \frac{2 \cdot 328}{1 + 0,18} = 555,9 \text{ MPa}$$



Obr. 6.11. – Graf součinitele jakosti povrchu



Obr. 6.12. – Graf součinitele velikosti

Součinitel sbíhavosti kritického místa: [23]

$$\psi_{\sigma}^{\times} = \frac{\psi_{\sigma}}{\beta_{\sigma \text{ MAX}}} \cdot \varepsilon_P \cdot v_{\sigma} = \frac{0,18}{5,4} \cdot 0,81 \cdot 0,99 = 0,027 \quad (6.59.)$$

$$\operatorname{tg} \gamma^{\times} = 1 - \psi_{\sigma}^{\times} \quad (6.60.)$$

$$\gamma^{\times} = \operatorname{tg}^{-1} 1 - \psi_{\sigma}^{\times} = \operatorname{tg}^{-1} 1 - 0,027 = 44,22^{\circ}$$

Mez únavy kritického místa šroubu: [23]

$$\sigma_C^{\times} = \sigma_C \cdot \frac{\varepsilon_P \cdot v_{\sigma}}{\beta_{\sigma \text{ MAX}}} = 328 \cdot \frac{0,81 \cdot 0,99}{5,4} = 48,7 \text{ MPa} \quad (6.61.)$$

Poměrná deformace šroubu: [23]

$$\begin{aligned}\varepsilon_S &= \frac{\Delta I_S}{I_{S \text{ DEF}}} = \frac{\frac{F_0}{c_S}}{\frac{1}{2}h + I_1 + I_2 + I_{P\check{R}} + I_3 + W} = \\ &= \frac{\frac{2\,958,2}{305\,810,3}}{\frac{1}{2} \cdot 6,8 + 1,6 + 2 + 13 + 1,6 + 3,3} = 3,88 \cdot 10^{-4}\end{aligned}\quad (6.62.)$$

Poměrná deformace příruby: [23]

$$\varepsilon_{P\check{R}} = \frac{\Delta I_{P\check{R}}}{I_{P\check{R} \text{ DEF}}} = \frac{\frac{F_0}{c_{P\check{R}}}}{I_{P\check{R}}} = \frac{\frac{2\,958,2}{13\,728\,330}}{13} = 1,66 \cdot 10^{-5}\quad (6.63.)$$

Dynamické bezpečnosti šroubu zatíženého provozní mříjivou silou vůči mezní amplitudě: [23]

$$\begin{aligned}k_{\sigma a} &= \frac{\sigma_A^\times}{\sigma_a} = \frac{\overline{O'M}}{\overline{O'P}} = \frac{\overline{O'M'}}{\overline{O'P'}} = \frac{\sigma_C^\times - \psi_\sigma^\times \cdot \sigma_{tSn}}{\psi_\sigma^\times \cdot (\sigma_{tSm} - \sigma_{tSn}) + \sigma_{tSa}} = \frac{\sigma_C^\times - \psi_\sigma^\times \cdot \sigma_{tSn}}{(1 + \psi_\sigma^\times) \cdot \sigma_{tSa}} = \\ &= \frac{48,7 - 0,027 \cdot 90,1}{(1 + 0,027) \cdot 0,2} = 225,3\end{aligned}\quad (6.64.)$$

Dynamické bezpečnosti šroubu zatíženého provozní mříjivou silou vůči meznímu hornímu napětí: [23]

$$\begin{aligned}k_{\sigma h} &= \frac{\sigma_H^\times}{\sigma_{tSh}} = \frac{\frac{2 \cdot \sigma_C^\times + (1 - \psi_\sigma^\times) \cdot \sigma_{tSn}}{1 + \psi_\sigma^\times}}{\sigma_{tSh}} = \frac{2 \cdot \sigma_C^\times + (1 - \psi_\sigma^\times) \cdot \sigma_{tSn}}{(1 + \psi_\sigma^\times) \cdot \sigma_{tSh}} = \\ &= \frac{2 \cdot 48,7 + (1 - 0,027) \cdot 90,1}{(1 + 0,027) \cdot 90,5} = 2\end{aligned}\quad (6.65.)$$

Statická bezpečnost šroubu: [23]

$$k_\tau = \frac{\tau_{Kt}}{\tau \cdot \alpha_\tau} = \frac{\frac{1}{2} \cdot R_e}{\tau \cdot 1} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 640}{41,5 \cdot 1} = 7,7\quad (6.66.)$$

Výsledná bezpečnost šroubu: [23]

$$\begin{aligned}\sigma_{RED}^2 &= \sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2 / \frac{1}{R_e^2} \\ \left(\frac{\sigma_{RED}}{R_e}\right)^2 &= \left(\frac{\sigma_t}{R_e}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\tau}{2 \cdot \tau_{Kt}}\right)^2 \\ \left(\frac{1}{k_V}\right)^2 &= \left(\frac{1}{k_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_\tau}\right)^2 \\ k_V &= \frac{k_\sigma \cdot k_\tau}{\sqrt{k_\sigma^2 + k_\tau^2}} = \frac{2 \cdot 7,7}{\sqrt{2^2 + 7,7^2}} = 1,9\end{aligned}\quad (6.67.)$$

6.4 Kontrola pomocí MKP:

Pomocí MKP je provedena kontrola vnějšího rámu, který nese veškeré zatížení. Zatížení je specifikováno ve třech směrech tak, jak popisuje norma ČSN EN 12633-1.

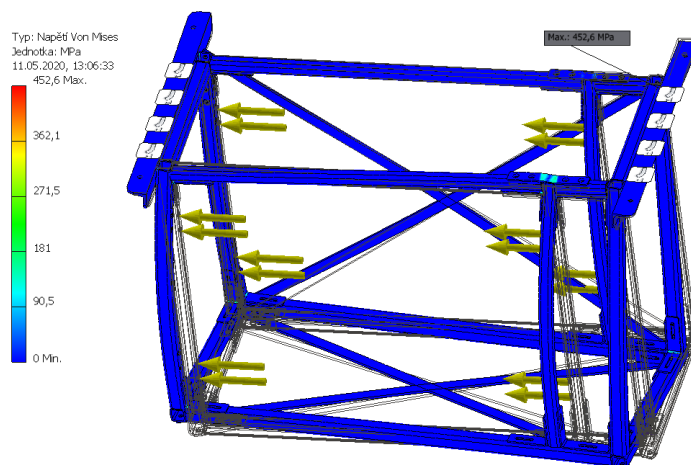
V průběhu této kontroly, jsem zjistil z počátečních výsledků, že je zapotřebí dodat vzpěry, které redukují deformaci.

6.4.1 Kontrola podélného směru:

Dle zmiňované normy v podélném směru je zatížení zvětšeno o tři násobek gravitačního zrychlení. Hlavní síla, působí v těžišti koše s bateriemi. (viz Obr. 6.4) Tuto sílu jsem rozložil na šestnáct sobě rovných sil působících v místě šroubového spoje pojezdu s rámem.

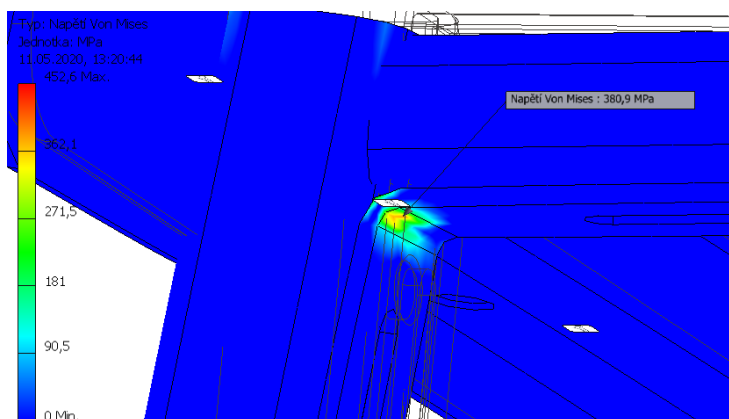
Výpočet síly působící v místě šroubového spoje:

$$F_{1POM} = \frac{m_c \cdot 3 \cdot g}{16} = \frac{290 \cdot 3 \cdot 9,81}{16} = 533,4 \text{ N} \quad (6.68.)$$



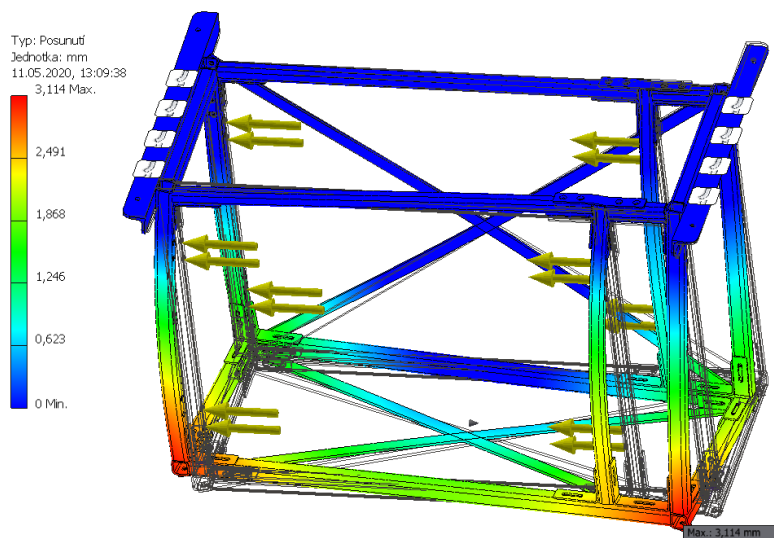
Obr. 6.13. – Redukované napětí

Maximální redukované napětí 452,6 MPa vzniklo v otvoru šroubového spoje skříně s konstrukcí vozu. Toto místo lze zanedbat, protože v reálné situaci zde bude působit třecí síla na celé ploše spoje. Toto kritické místo vzniklo pouze při vazbě skříně v programu MKP.



Obr. 6.14. – Kritické místo v podélném směru

Nejkritičtější místo je na spojovacím úhelníku. Je to velmi malá plocha, které můžeme nazvat singularitou. V tomto místě dojde v případě přetížení k plastizaci. Takové zatížení je přijatelné.



Obr. 6.15. – Deformace rámu v podélném směru

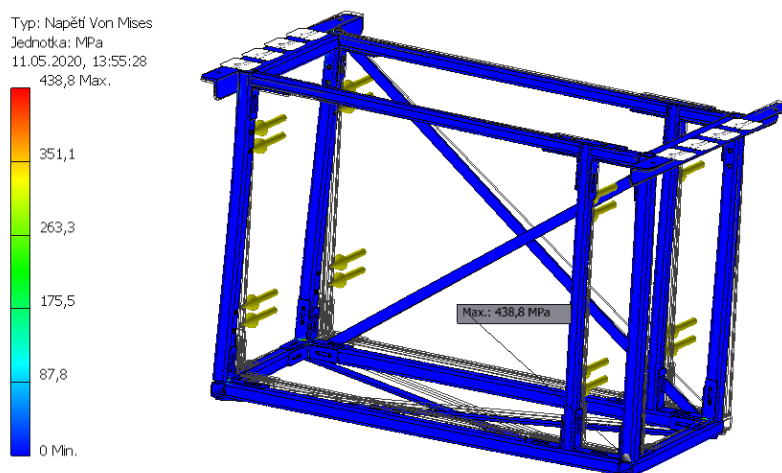
Největší deformace v případě přetížení činí 3,1 mm. Tito hodnotu považuji za zanedbatelnou při rozměrech této konstrukce.

6.4.2 Kontrola příčného směru:

V příčném směru také rozdělím hlavní zatěžující sílu na 16 sil působících v místech šroubového spoje.

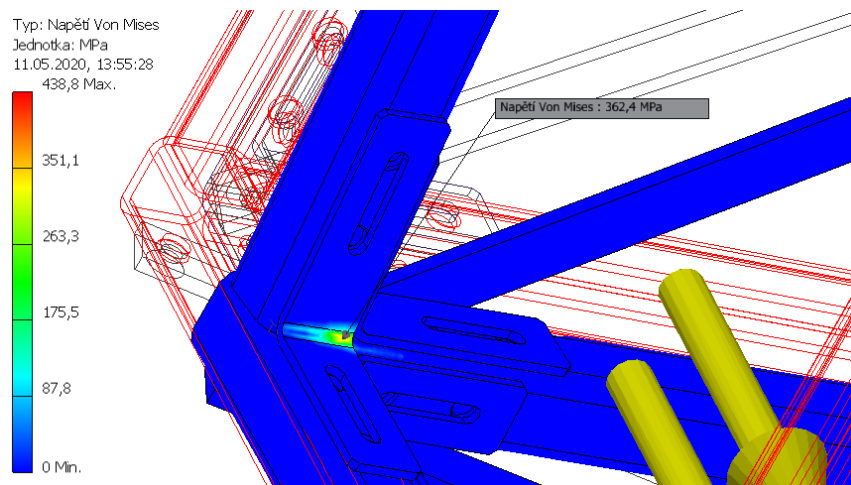
Výpočet síly působícího v místě šroubového spoje:

$$F_{1PŘM} = \frac{m_c \cdot g}{16} = \frac{290 \cdot 9,81}{16} = 177,8 \text{ N} \quad (6.68.)$$



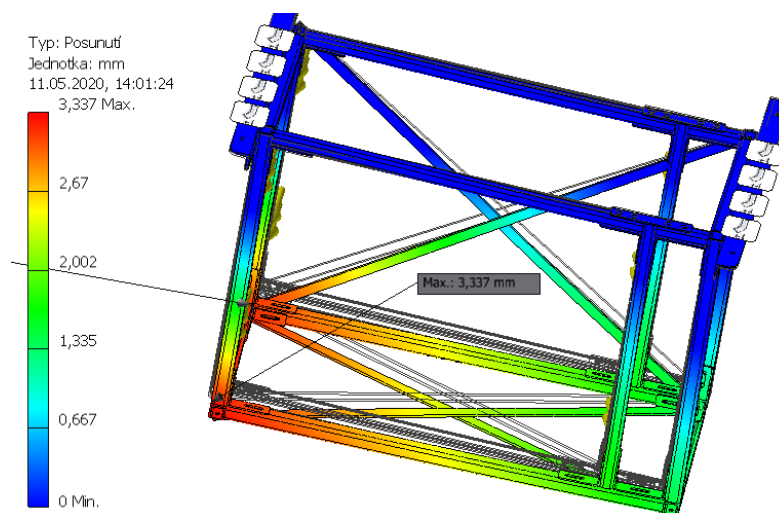
Obr. 6.16. – Redukované napětí

Maximální napětí vzniklo v nepodstatném místě. Toto místo není nosné a nedochází v něm k přenosu sil.



Obr. 6.17. – Kritické místo v příčném směru

Máme zde stejnou situaci jako v podélném směru, jenom na jiném spojovacím úhelníku. Můžu konstatovat stejný závěr jako v podélném směru.



Obr. 6.18. – Deformace rámu v příčném směru

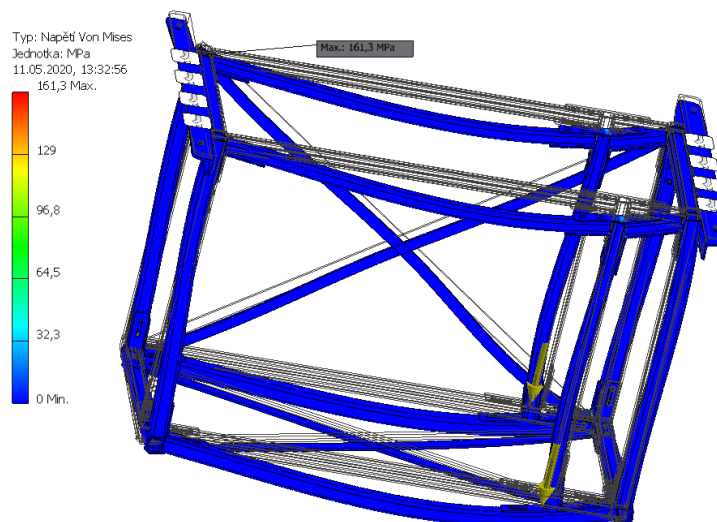
Největší deformace i v tomto směru je velmi malá, pouze 3,3 mm. Při rozměrech konstrukce se dá zanedbat.

6.4.3 Kontrola svislého směru:

Ve svislém směru rozdělím hlavní sílu pouze na čtyři síly působící v spodním otvoru šroubového spoje spojujícího pojezd s rámem.

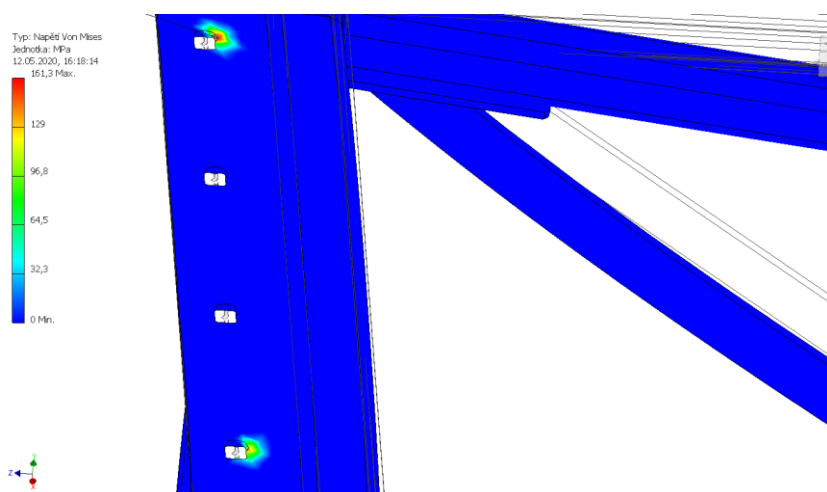
Výpočet síly působící v místě šroubového spoje:

$$F_{1SM} = \frac{m_c \cdot 3 \cdot g}{4} = \frac{290 \cdot 2 \cdot 9,81}{4} = 1\,422,45 \text{ N} \quad (6.68.)$$

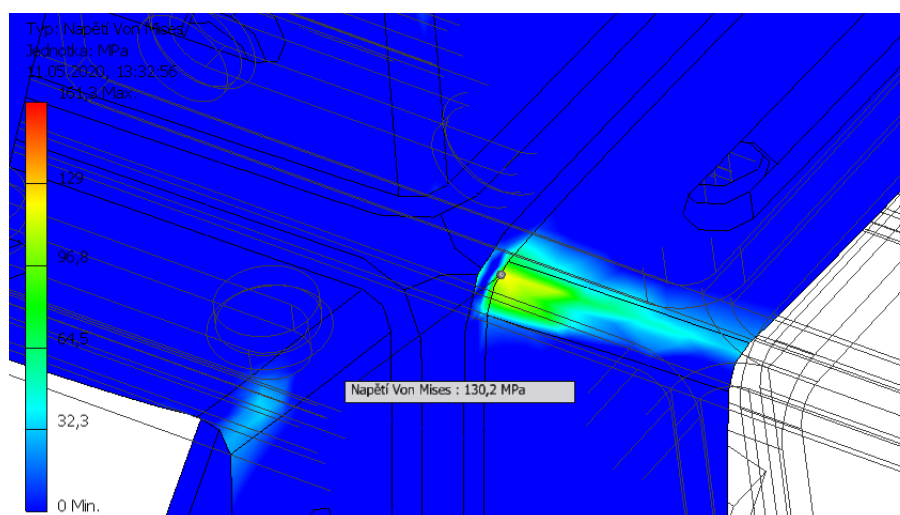


Obr. 6.19. – Redukované napětí

Maximální napětí vzniká v okolí šroubového spoje spojujícího skříň s rámem vozu. Jedná se o velmi malou plochu, a jak již bylo zmíněno můžeme tuto oblast nazvat singularitou. Toto místo vyhovuje.

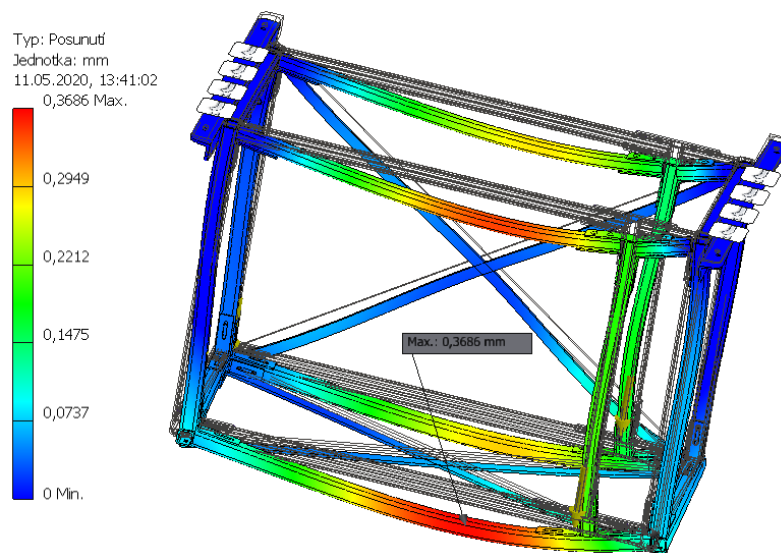


Obr. 6.20. – Maximální napětí ve svislém směru



Obr. 6.20. – Kritické místo ve svislém směru

Kritické místo zase vzniká na spojovacím úhelníku. Tento úhelník je na jiném místě než dva předchozí. Při porovnání dvou směrů, které byly již kontrolovány, tato hodnota napětí je nízká, a proto konstatuji, že v tomto kritické místě při přetížení nedojde k poškození konstrukce.



Obr. 6.22. – Deformace rámu

Deformace v tomto směru nepřesahuje polovinu jednotky milimetru a nepůsobí v místě spoje. Uvažuji tuto hodnotu za zanedbatelnou.

7 Závěr:

K problematice Bateriových skříní pro kolejová vozidla jsem nenalezl žádnou literaturu, která by mi posloužila k inspiraci a nastudování nejčastějších problémů. Řídil jsem se pouze normou ČSN EN 12663, Podklady dodané z firmy a osobním zkoumáním bateriových skříní na vlacích, které se pohybují v tomto kraji. Při návrhu jsem postupoval tak, jako bych tuto skříň měl montovat sám, tudíž jsem bral ohled na jednoduchost a účelovost.

Výpočty v této práci nepokrývají všechna kritická místa a zabývají se pouze vybranými místy. Pro více výpočtů jako jsou šrouby spojující profily vnějšího rámu v této práci již nebylo místo.

8 Poděkování:

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce za rady, komentáře a pomoc při řešení problematiky. Děkuji také všem akademickým pracovníkům katedry částí a mechanismů strojů za znalosti, které mi předali a mohl jsem je využít k vypracování této práce. díky patří také Bohu, že jsem mohl ve zdraví dokončit tuto práci.

9 Zdroje:

- [1] Monorail v Moskvě. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Monorail_v_Moskv%C4%9B
- [2] Visutá dráha ve Wuppertalu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Visut%C3%A1_dr%C3%A1ha_ve_Wuppertalu
- [3] DOSTÁL, Josef a Petr HELLER. *Kolejová vozidla I*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-520-5.
- [4] LOKOMOTIVA EMIL ZÁTOPEK ČESKO. In: *ŠKODA* [online]. ŠKODA TRANSPORTATION, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-88-1200-.jpg>
- [5] Vectron Dual Mode. In: *Siemens Mobility Global Website* [online]. Siemens Mobility, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:da9d7e5cd3655290985dc93d690e8239f8298241/width:750/quality:high/version:1534142939/mo-vectron-dual-mode-keyvisual-16to9.jpg>
- [6] MOTOROVÉ VOZY 914 157-3. In: *ORSO.CZ ZELEZNICE* [online]. Ing. Jaroslav Dvořák, 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:da9d7e5cd3655290985dc93d690e8239f8298241/width:750/quality:high/version:1534142939/mo-vectron-dual-mode-keyvisual-16to9.jpg>
- [7] Elektrická jednotka 680. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_680
- [8] S200 high-floor light rail vehicle, Calgarz, Alberta. In: *Siemens Mobility Global Website* [online]. Siemens Mobility, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:5fb2d2a777c92c3c54db5a955f21b1f37f46f939/width:640/crop:0:0,02857:0,99881:0,74921/quality:high/version:1490880036/calgary-s200.jpg>

- [9] METRO NĚVA PETROHRAD. In: *ŠKODA* [online]. ŠKODA TRANSPORTATION, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-209-1200-.jpg>
- [10] ČSN EN 12663-1+A1: Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel – Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metody pro nákladní vozy). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [11] Elektrická baterie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_baterie
- [12] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [13] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004. Elektro, sv. 71. ISBN 80-86230-34-1.
- [14] Galvanický článek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek
- [15] Reaktant. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- 2020 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Reaktant>
- [16] GUMEX. *GUMEX* [online]. Strážnice, 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/>
- [17] OTĚRUVZDORNÁ TĚSNICÍ PRYŽ A590. *GUMEX* [online]. Strážnice, 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/h/oteruvzdorna-tesnici-pryz-a590-00404.html#sekce=variant-table-placeholder>
- [18] *CHAMBRELAN* [online]. Praha: CHAMBRELAN, 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.chambrelan.cz/>
- [19] RA774. In: *CHAMBRELAN* [online]. Praha: CHAMBRELAN, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.chambrelan.cz/vedeni/teleskopicke-listy/extra-vysuv/ra774/>

- [20] SIMAF 6 TF 35 X. In: *TracePart S.A.S* [online]. Saint Romain: TracePart S.A.S, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/cs/product/simaf-blind-rivet-nut-m6-material-inox?CatalogPath=SIMAF%3ASIMAF.020&Product=10-06012014-080346&PartNumber=6%20TF%2035%20X>
- [21] Nýtovací matice SFR - Ocel. In: *SIMAF* [online]. Brno - Horní Heršpice: Simaf, 2018 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://simaf.cz/nytovaci-matice-sfr>
- [22] SOUČINITEL TŘENÍ. In: *E-konstruktor Portál pro strojní konstruktéry* [online]. Praha: E-konstruktor, 2017 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [23] KALÁB, Květoslav. NÁVRH A VÝPOČET DYNAMICKY NAMÁHANÉHO ŠROUBU KRUHOVÉHO PŘÍRUBOVÉHO SPOJE: Vysokoškolská příručka. Ostrava, 2018.
- [24] MECHANICKÉ VLASTNOSTI OCELOVÝCH ŠROUBŮ. *Oborový informační server Šroub a Matka.CZ* [online]. Liberec: NetDesign, 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.sroubamatka.cz/cs/technicke-informace/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu.html>

10 Přílohy:

Příloha A – sestavný výkres

Příloha B – výrobní výkres

Příloha C – diagramy předepjatého spoje